

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh hydraulického stavu pro zkoušení
proporcionálních rozváděčů
Design of Test Stand of Hydraulic Proportional
Valves

Student: Bc. Ervín Kostka
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ervín Kostka**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Návrh zkušebního stavu pro zkoušení proporcionálních ventilů**
Design of Test Stand of Hydraulic Proportional Valves

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zkušební stav pro zkoušení proporcionálních ventilů a metodiku jejich měření a vyhodnocování.

Vypracujte:

1. Funkční schéma hydraulického obvodu.
2. Výpočet parametrů hydraulického obvodu zkušebního stavu.
3. Specifikaci hlavních hydraulických a elektrohydraulických prvků a přístrojů.
4. Návrh způsobu diagnostiky proporcionálních ventilů od světlosti DN6 do světlosti DN32 pro běžné řídicí signály, zpracování metodiky vyhodnocování provedených měření včetně nezbytné teorie.
5. Návrh základní konfigurace systému připojování ventilů na zkušební kostky a návrh dispozice zkušebního stavu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KOLEKTIV AUTORŮ. *Proportionální technika a servotechnika*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1986. ISBN 3-8023-0898-0.
2. KOLEKTIV AUTORŮ. *Design Engineers Handbook*. Parker Hannifin, Bulletin 0292-B1-H.
3. KOLEKTIV AUTORŮ. *Řízení hydraulických systémů pro průmyslové aplikace*. Brno: BoschRexroth/CZ, 2007. 149 s.
4. SOUČEK, P. *Elektrohydraulické servomechanismy*. Praha: ČVUT Praha, 1992. 158 s. ISBN 80-01-00376-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

Kozubková

prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

Ernī Kodler

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: *21. 5. 2012*
.....

Ervín Kostka
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ervín Kostka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hrádek 444

739 97 Hrádek

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kostka, E. *Návrh zkušebního stavu pro zkoušení proporcionálních ventilů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 59 s. Vedoucí práce: Pavlok, B.

Diplomová práce se zabývá návrhem zkušebního stavu proporcionálních rozváděčů a jejich diagnostikou. V úvodu práce je nastíněn přehled současného stavu řešené problematiky s konstrukčním popisem vyráběných zkušebních stavů. Dále je navržena základní koncepce zkušebního stavu včetně návrhu hydraulického obvodu a potřebných výpočtů s volbou vybraných hydraulických prvků. V další kapitole jsou popsány použité měřicí snímače, testovací signály a měřicí postupy jednotlivých druhů měření. V závěru práce je navržena konfigurace připojení měřeného rozváděče k měřicímu bloku a návrh dispozice zkušebního stavu.

ANOTATION OF MASTER THESIS

Kostka, E. *Design of Test Stand of Hydraulic Proportional Valves: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2012, 59 p. Thesis head: Pavlok, B.

Master Thesis is dealing with design of test stand of hydraulic proportional valves and their diagnostics. The Thesis introduction describes summary of present situation of solved issue with design description of produced test stands. Next the basic conception of test stand is designed including hydraulic circuit design and necessary calculations with choice of selected hydraulic components. In the next chapter there are described used measuring sensors, testing signals and measuring procedures of individual measurement types. At the end of the Thesis there is designed configuration of connection between measured valve and connecting block, and design of test stand disposition.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD	11
1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
2. NÁVRH ZKUŠEBNÍHO STAVU	14
2.1 Základní koncepce zkušebního stavu	14
2.2 Návrh hydraulického obvodu měřicí části	16
2.3 Výpočet parametrů měřicí části a volba hlavních prvků	19
2.4 Návrh obvodu s přímočarými hydromotory	32
2.5 Výpočet parametrů obvodu s přímočarými hydromotory a volba hlavních prvků	33
3. NÁVRH ZPŮSOBU DIAGNOSTIKY PROPORCIONÁLNÍCH ROZVÁDĚČŮ	37
3.1 Testovací signály	37
3.2 Měřicí snímače zkušebního stavu	38
3.3 Měření statických charakteristik	40
3.4 Měření přechodové charakteristiky	44
3.5 Měření průtokových ztrát	46
3.6 Kontrola přesnosti polohování přímočarého hydromotoru se zátěží	47
4. NÁVRH ZÁKLADNÍ KONFIGURACE SYSTÉMU PŘIPOJOVÁNÍ VENTILŮ NA PŘIPOJOVACÍ BLOK	48
5. NÁVRH DISPOZICE ZKUŠEBNÍHO STAVU	51
6. ZÁVĚR	56
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
8. SEZNAM PŘÍLOH	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Název	Rozměr
D_1	průměr pístu hydromotoru HVO	[m]
D_2	průměr pístu hydromotoru HVZ	[m]
F_1	tlačná síla	[N]
F_2	tažná síla	[N]
Q_1	průtok kapaliny od pístu HVO	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_2	průtok kapaliny od mezikruží HVO	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_3	průtok kapaliny od pístu HVZ	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_4	průtok kapaliny od mezikruží HVZ	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_F	jmenovitý průtok tlakového filtru	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{HG}	maximální průtok hydrogenerátoru	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{HHA}	maximální průtok hydraulického agregátu HHA	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_o	maximální průtok v obvodu	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_s	průtok v sacím potrubí nádrže NZ	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{sp}	průměrný průtok v sacím potrubí nádrže NZ	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
S_1	plocha pístu hydromotoru HVO	$[m^2]$
S_2	plocha mezikruží hydromotoru HVO	$[m^2]$
S_3	plocha pístu hydromotoru HVZ	$[m^2]$
S_4	plocha mezikruží hydromotoru HVZ	$[m^2]$
V_0	celkový objem hydraulického akumulátoru	$[m^3]$
V_{0s1}	skutečný objem hydraulického akumulátoru	$[m^3]$
V_{0s}	celkový skutečný objem hydraulických akumulátorů	$[m^3]$
V_A	využitelný objem hydraulického akumulátoru	$[m^3]$
V_{NZ}	objem nádrže NZ	$[m^3]$
V_R	rezervní objem hydraulického akumulátoru	$[m^3]$
d_1	průměr pístnice hydromotoru HVO	[m]
d_2	průměr pístnice hydromotoru HVZ	[m]
d_H	světlost hadice H1.3	[m]
d_t	světlost tlakového vedení	[m]
d_{xp}	světlost vedení řídicího tlaku	[m]

d_z	světlost zpětného vedení	[m]
f_1	součinitel viskozity	[1]
f_2	provozní součinitel	[1]
k	počet cyklů	[1]
l_1	zdvih pístnice hydromotoru HVO	[m]
l_2	zdvih pístnice hydromotoru HVZ	[m]
l_H	délka hadice H1.3	[m]
n	oběhové číslo	[1]
n_{HG}	počet hydrogenerátorů	[1]
p_0	plnicí tlak hydraulického akumulátoru	[Pa]
p_1	minimální tlak v hydraulickém akumulátoru	[Pa]
p_2	maximální tlak v hydraulickém akumulátoru	[Pa]
p_3	tlak vyvozený silou F_2	[Pa]
p_4	tlak vyvozený silou F_1	[Pa]
p_R	tlak na vstupu do rozváděče	[Pa]
Δp	tlakový spád (obecně)	[Pa]
Δp_a	pokles tlaku v hydraulickém akumulátoru	[Pa]
Δp_F	tlaková ztráta filtru	[Pa]
Δp_{Fc}	tlaková ztráta dvojice filtrů	[Pa]
Δp_{Ft}	tlaková ztráta tělesa filtru	[Pa]
Δp_{Fv}	tlaková ztráta filtrační vložky filtru	[Pa]
Δp_H	tlaková ztráta hadice H1.3	[Pa]
Δp_Q	tlaková ztráta průtokoměru	[Pa]
Δp_{ξ}	tlakový spád na škrticí hraně rozváděče	[Pa]
Δp_{VV}	tlaková ztráta vypínacího ventilu	[Pa]
Δp_{ZV}	tlaková ztráta zpětného ventilu	[Pa]
t	čas (obecně)	[s]
t_c	doba vysouvání hydromotoru HVZ v jednom cyklu	[s]
t_{HG}	doba otevírání hydrogenerátoru	[s]
t_{min}	minimální teplota kapaliny	[°C]
t_R	doba přesouvání rozváděče	[s]
t_v	doba vysouvání hydromotoru HVZ	[s]
v_p	rychlost pohybu pístnice	[m · s ⁻¹]
v_H	rychlost proudění v hadici H1.3	[m · s ⁻¹]
v_{max}	maximální rychlost pohybu pístnice	[m · s ⁻¹]

v_t	rychlost proudění v tlakové větvi	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{ts}	skutečná rychlost proudění v tlakové větvi	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{xp}	rychlost proudění ve větvi řídicího tlaku	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{xps}	skutečná rychlost proudění ve větvi řídicího tlaku	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_z	rychlost proudění ve zpětné větvi	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{zs}	skutečná rychlost proudění ve zpětné větvi	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
x	vysunutí pístnice	$[\text{m}]$
κ	polytropický exponent	$[1]$
λ	součinitel třecích ztrát	$[1]$
ν	kinematická viskozita kapaliny	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
ρ	měrná hmotnost kapaliny	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

ÚVOD

Každá strojní součást se během svého provozu opotřebovává, u proporcionálních rozváděčů toto platí dvojnásob. Při proudění oleje dochází k opotřebování škrticích hran šoupátka a tělesa rozváděče, což spolu se zvětšením funkční mezery šoupátka způsobí zvýšení průtokových ztrát a dojde ke změně provozních charakteristik rozváděče. Uvedené změny provozních parametrů rozváděče se měří na zkušebních stavech, na kterých se postupně simulují různá zatížení rozváděče a jeho schopnost řízení polohy hydraulického válce. Po ukončení zkoušení rozváděče se naměřené hodnoty veličin vyhodnotí a rozhodne se, zda je rozváděč v dobrém stavu či nikoliv. Mezi další funkce zkušebního stavu lze uvést ověřování parametrů udávaných výrobcem rozváděče a zjišťování parametrů při odlišných pracovních podmínkách (odlišná viskozita pracovní kapaliny, nastavení jiného řídicího tlaku, měření průtoku rozváděčem při odlišném tlakovém spádu, než jaký udává výrobce).

Zadání diplomové práce poskytla VŠB-TU Ostrava ve spolupráci s firmou KOMA-Industry s. r. o., jenž se mj. zabývá modernizací zkušebny hydraulických ventilů a bloků firmy ŽĎAS a.s. Součástí modernizace je návrh nového zkušebního stavu proporcionálních rozváděčů, což je cílem této diplomové práce. Nový zkušební stav by měl být vybaven moderní technikou zahrnující dotykový ovládací panel, možností elektronického nastavení hlavních parametrů (tlak, průtok), možností simulovat řízení polohy hydraulického válce s proměnlivým zatížením, měřením průtokových ztrát a především možností elektronického záznamu dat v čase. Samozřejmostí je ochrana obsluhy při měření. Od uvedených změn se očekává zvýšení komfortu ovládání zkušebního stavu, kvality zkušebního procesu a urychlení měřicích postupů.

1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současné době roste počet firem zabývajících se výrobou měřicích stavů. Vznikají požadavky na modernizaci zkušebních stavů s využitím počítačové techniky, elektronického záznamu dat, elektrického řízení stavu a v případě automatických měřicích zařízení i zkrácení doby měření. Mezi výrobce moderních zkušebních stavů patří např. americká firma Titan Inc. [9]. Z hlediska měření proporcionálních rozváděčů nabízí měřicí stav s nastavením maximálního tlaku až $35 \cdot 10^6$ Pa a průtoku do $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Je proto vhodný pro měření rozváděčů světlosti DN6. Měřicí stav proporcionálních rozváděčů firmy Titan je na obr. 1:



Obr. 1 Zkušební stav firmy Titan [9]

Sériově vyráběné zkušební stavy se vyznačují malým maximálním průtokem oleje, řádově stovky $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. V případě požadavků na vyšší průtoky a tlaky a speciální vybavení, např. přímočaré hydromotory pro simulaci polohování se zátěží, se již jedná o zakázkovou výrobu.

Mezi další výrobce zkušebních stavů hydraulických ventilů lze uvést např. firmy Testek Inc. [17], Bimal [18], Chant Engineering Co. Inc. [19].

Zkušební stav bývá řešen jako kompaktní celek skládající se z následujících základních částí:

- 1) Nosný stůl - slouží k upevnění prvků (rozváděčů a rozváděcích bloků), obsahuje otvory nebo drážky pro odtok uniklého oleje, součástí stolu může být vlastní hydraulický agregát, dále blok ventilů, olejové nádrže, skříně s nářadím a hadicemi, přímočaré hydromotory pro simulaci polohování se zátěží. V případě, že zkušební stav nemá vlastní agregát, je ve své zadní části připojen k centrálnímu potrubnímu rozvodu místnosti,
- 2) stěna s připojovacím šroubením (vstup, výstup kapaliny, řízení), ovládacími ventily, manometry a dalšími prvky (např. odměrné válce pro měření průtokových ztrát, elektrické konektory), uvnitř mohou být umístěné hydraulické akumulátory a filtry,
- 3) vlastní hydraulický rozvod kapaliny - umístěn např. na zadní straně stěny s prvky a ve stole,
- 4) bezpečnostní krytí - při testování rozváděče kryje a chrání obsluhu např. před paprskem oleje, kvůli kontrole je řešeno jako skládací zeď nebo dvířka z průhledného polykarbonátu,
- 5) vyhodnocovací panel - umístěn vně testovacího stavu, slouží k ovládání a vyhodnocení měření rozváděče.

Jednotlivé části jsou umístěny tak, aby byly snadno dostupné, všechny ovládací a zobrazovací prvky musí být přehledné. Samotný měřený rozváděč je spolu s připojovacím blokem a připojovacím šroubením hydraulických hadic umístěn za ochranným průhledným krytím, jež musí být během měření kvůli bezpečnosti uzavřeno.

2. NÁVRH ZKUŠEBNÍHO STAVU

2.1 Základní koncepce zkušebního stavu

Při návrhu základní koncepce vycházím z následujících požadavků zadavatele diplomové práce:

- 1) zkoušení proporcionálních rozváděčů světlosti DN6 až DN32,
- 2) připojení zkušebního stavu ke stávajícímu potrubnímu rozvodu zkušebny,
- 3) možností volby mezi zatížením obvodu přímočarým hydromotorem s možností řízení polohy, a pojistnými ventily,
- 4) měření průtokových ztrát,
- 5) centrální řízení a nastavení obvodu z ovládacího panelu (vyšší komfort obsluhy),
- 6) elektronický záznam dat ze snímačů v obvodu a možnost vyhodnocení dat.

Rozdělení zkušebního stavu podle funkce na hlavní části

Zkušební stav lze rozdělit podle funkce na čtyři základní části:

- a) ovládací část - část obsahující veškeré ovládací prvky krom kulových kohoutů, jenž slouží k uzavření výstupů zkušebního stavu pro hadice,
- b) zkušební část - část zahrnující prostor pro upevnění měřeného rozváděče na připojovacím bloku, elektrické konektory, šroubení pro hadice a kulové kohouty výstupů. Zkušební část je ohraničena průhlednou stěnou chránící obsluhu,
- c) hydraulická část - vlastní hydraulický obvod zkušebního stavu,
- d) napájecí část - připojení zkušebního stavu ke zdroji tlakové kapaliny.

Zdroj tlakové kapaliny

Navrhovaný zkušební stav proporcionálních rozváděčů bude součástí modernizované zkušebny hydraulických prvků firmy ŽĐAS, a.s. Tato zkušebna již má základní vybavení, hlavní hydraulický agregát HHA s osmi hydrogenerátory Parker PV 360 s maximálním tlakem $40 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ a celkovým průtokem $0,0667 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), pomocný agregát PHA s dvojicí hydrogenerátorů Parker PV 046 s maximálním tlakem 40 MPa a průtokem $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($132 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). Oba zmíněné agregáty jsou vybaveny regulací na konstantní tlak i průtok a ústí do potrubního rozvodu zkušebny. Dále je zde akumulátorová stanice, jež také prochází modernizací. Jako zdroj tlakové kapaliny využiji stávající potrubní rozvod zkušebny, který slouží k napájení i dalších zkušebních stavů.

hydraulické hadice jak pro hlavní větve rozváděče (P, T, A, B), tak pro větve externího řídicího tlaku. Elektrické propojení bude řešeno soustavou elektrických konektorů pro připojení kabelů elektromagnetů rozváděče (rozváděč bez vestavěné elektronické karty), kabelů elektronické karty (vestavěná karta v rozváděči), dále pro připojení snímačů tlaků ve větvích rozváděče a snímače polohy šoupátka rozváděče (pokud je snímač použit). Pro měření tlaků přímo v připojovacím bloku jsem se rozhodl z důvodu přesnějšího měření tlaků, jelikož v hadicích, zvláště pokud budou výrazně ohnuté, mohou vznikat velké tlakové ztráty.

Přímočaré hydromotory pro simulaci řízení polohy

K simulaci řízení polohy se zpětnou vazbou slouží dvojice přímočarých hydromotorů pevně spojených pístnicemi. Řídicí hydromotor HVO s odměřováním bude přímo řízen měřeným rozváděčem R a jeho pístnice bude pohybovat s pístnicí zátěžového přímočarého hydromotoru HVZ. Tento hydromotor má ve svém samostatném hydraulickém obvodu umístěné zátěžové ventily pro simulaci zátěže. Pro umístění obou hydromotorů vzhledem k jejich předpokládané velké délce volím prostor pod měřicím stolem, umístění v horizontální poloze.

Navržená základní koncepce zkušebního stavu je tedy následující: stacionární zkušební stav proporcionálních rozváděčů připojený ke stávajícímu potrubnímu rozvodu zkušebny, s vlastním elektronickým záznamem dat, elektrickým nastavením provozních parametrů (tlak, průtok, řízení měřeného rozváděče) a přímočarými hydromotory pro řízení polohy.

2.2 Návrh hydraulického obvodu měřicí části

Popis hydraulického obvodu

Měřicí část hydraulického obvodu zkušebního stavu zahrnuje připojení obvodu ke zdroji tlakové kapaliny, vnitřní zapojení hydraulického obvodu, připojení měřeného rozváděče a označení připojení přímočarého hydromotoru. Uvedený obvod proto bude obsahovat většinu prvků hydraulického obvodu. V obvodu také zobrazím zdroje tlakové kapaliny s nádrží, akumulátorovou stanicí a blokové zobrazení řízení obvodu.

Navržené schéma obvodu měřicí části stavu je uvedeno v příloze A – výkres s číslem KOS376-D-1 a specifikace prvků v příloze B – výkres číslo KOS376-D-1S. Hlavní část hydraulického obvodu tvoří blok ventilů BV, v němž jsou umístěny dva redukční, tři pojistné, tři zpětné a jeden vypínací vestavný ventil. Blok BV je přes kulové kohouty

připojen ke stávajícímu potrubnímu rozvodu zkušebny. K bloku jsou dále připojeny další prvky, o kterých bude pojednáno dále. Důvodem použití vestavných ventilů je velká hodnota maximálního průtoku kapaliny, viz následující kapitola 2.3.

Popis funkce hydraulického obvodu

Jako zdroj tlaku slouží stávající hlavní hydraulický agregát HHA a pomocný hydraulický agregát PHA, sající kapalinu ze stávající centrální nádrže zkušebny o objemu 6 m^3 , viz příloha A v pravém dolním rohu. Tlaková kapalina je poté rozváděna stávajícím potrubním rozvodem přes stávající akumulátorovou stanici ke zkušebnímu stavu. Po otevření hlavních kulových kohoutů DKV1 a DKV4.1 (dolní část přílohy A) je blok ventilů BV připojen k potrubnímu rozvodu zkušebny, mezi blokem BV a uvedenými kohouty jsem umístil snímání tlaku pro manometr M1.3 pro kontrolu tlaku ve vstupním vedení. V bloku BV dojde k rozvedení kapaliny ke třem vestavným ventilům. Prvním z nich je manuálně ovládaný redukční ventil RV2 sloužící k nastavení externího řídicího tlaku P_x měřeného rozváděče. Tento ventil je funkční po otevření kulového kohoutu DKV5.2, pro vizuální kontrolu nastaveného řídicího tlaku je zde použit analogový manometr M1.2. Dalším ventilem je pojistný ventil PV1 připojený do zpětné větve bloku BV, chránící hydraulický obvod před přetlakem.

Tlaková kapalina dále vstupuje do hlavního redukčního ventilu RV1, který slouží k nastavení potřebného tlaku na vstupu obvodu nezávisle na tlaku v potrubním rozvodu. Dále následuje vypínací ventil VV, jenž se otevře pouze při měření a odděluje hydraulický obvod od zdroje tlaku. Z něj proudí kapalina do zpětného ventilu ZV1.1, jenž chrání potrubní rozvody s agregáty před tlakovými špičkami a znemožňuje vypouštění akumulátoru do tlakového vedení zkušebny. V tuto chvíli již kapalina proudí ven z bloku BV potrubím do větveného průtokoměru SQ, dále potrubím s připojeným manometrem M1.1 pro vizuální kontrolu nastaveného tlaku v obvodu a snímačem teploty a tlaku SPT k bezpečnostním blokům BB1.1 a BB1.2 akumulátorů AK1.1 a AK1.2. Tyto akumulátory slouží k akumulaci a doplňování tlakové kapaliny do obvodu, např. při rychlém uzavření a otevření rozváděče, kdy hydrogenerátory hydraulických agregátů nedokáží dostatečně rychle reagovat a vzniká přebytek, případně nedostatek kapaliny. Bloky BB obsahují elektricky řízené 2/2 rozváděče pro vypuštění kapaliny z akumulátorů. Tyto rozváděče jsou řízeny řídicí kartou zkušebního stavu a fungují jako bezpečnostní prvky (např. po ukončení měření dojde k vypuštění akumulátorů). Za akumulátory jsou umístěny dva tlakové filtry F1.1a F1.2 sloužící k dodatečné filtraci kapaliny před měřeným rozváděčem. Oba filtry

mají filtrační schopnost 5 μm , obtoky jednosměrnými ventily a snímačem tlakového spádu na filtrační vložce s elektrickým výstupem. V tomto bodě jsem umístil malý kulový kohout DKV5.1 pro nouzové manuální vypuštění hydraulických akumulátorů do zpětného potrubí. Výstupy filtrů jsou spojeny a jsou připojeny ke kulovému kohoutu DKV4.4. Tento kulový kohout stejně jako další kohouty DKV4.2 až DKV4.5 uzavírají hadicové přípojky hydraulického stavu tak, aby v případě odpojení hadice měřeného rozváděče nedošlo k vytečení oleje z obvodu. Za kohoutem DKV4.4 již kapalina proudí přes propojovací hadici H1.3 do připojovacího bloku PB a do měřeného rozváděče R.

Měřený rozváděč R je připojen k připojovacímu bloku PB, v němž jsou závitové otvory pro přišroubování tlakových snímačů SP1.1 až SP1.4 pro co nejpřesnější měření tlaků v kanálech rozváděče. Blok PB je s obvodem zkušebního stavu spojen pomocí hadic, přičemž hadice H1.1 až H1.4 jsou hlavní hadice se šroubením a hadice H2.1 a H2.2 slouží k přívodu a odvodu externího řídicího tlaku a mohou být připojeny pomocí rychlospojek.

Pracovní výstupy A a B měřeného rozváděče jsou přes kulové kohouty DKV4.2 a DKV4.3 propojeny s třicestnými kohouty TKV1.1 a TKV1.2, jenž slouží k volbě mezi zatížením pojistnými ventily a zatížením přímočarými hydromotory. V případě zatížení pojistnými ventily proudí kapalina např. z kanálu A rozváděče přes kohouty DKV4.2 a TKV1.1 na vstup A pojistného ventilu PV2.2, dochází podle nastaveného tlaku k otevření ventilu a kapalina dále teče přes kohout DKV4.3 do výstupu B rozváděče, přes kohout DKV4.5 do zpětného vedení T bloku BV a do zpětného potrubí rozvodu zkušebny. Při zatížení rozváděče R daným tlakovým spádem se na redukčním ventilu RV1 a na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2 nastaví tlaky tak, aby rozdíl mezi tlakem na RV1 a pojistném ventilu byl roven zvolenému tlakovému spádu. Zpětné ventily ZV1.2 a ZV1.3 slouží jako obtok pojistných ventilů a usměrňují průtok kapaliny správným směrem. Při volbě zatížení přímočarými hydromotory proudí kapalina z třicestných kohoutů TKV1.1 a TKV1.2 do obvodu s přímočarými hydromotory a vyvozuje pohyb hydromotoru HVO. Popis tohoto obvodu je v následující kapitole 2.4.

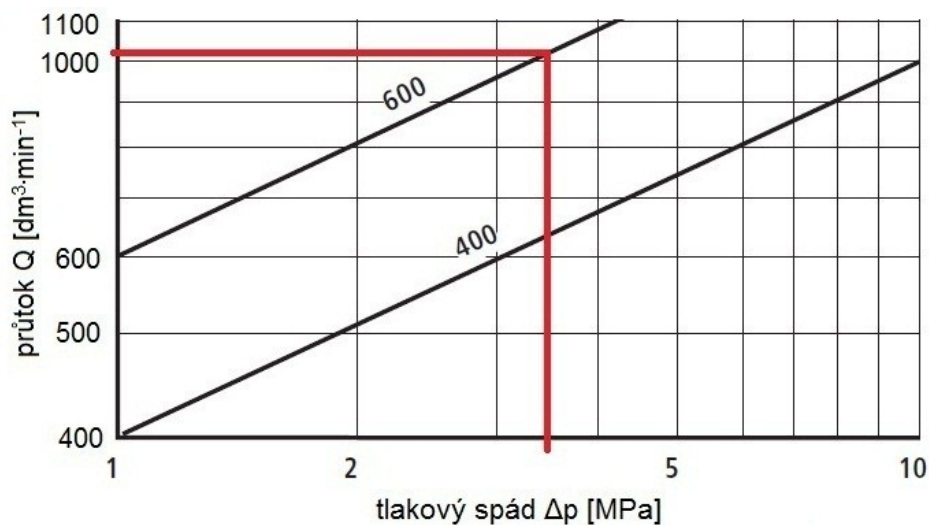
Zpětné vedení T bloku BV je přes kulový kohout DKV2 světlosti DN4 propojeno s odměrným válcem OV pro měření průtokových ztrát rozváděče R. Zmíněný kulový kohout má koncový spínač KS pro kontrolu uzavřeného stavu kohoutu. Otevřít se může pouze při měření průtokových ztrát. Pokud dojde k nežádoucímu otevření kohoutu DKV2, koncový spínač vyšle signál do řídicí elektroniky zkušebního stavu a dojde k vypuštění

akumulátorů přes bezpečnostní bloky BB1 do zpětného vedení. Vypuštění odměrného válce jsem vyřešil pomocí kulového kohoutu DKV3.1 propojeného s vedením průtokových ztrát L, kam jsou také svedeny zpětná vedení Y z popsanych vestavných ventilů. Vedení L je vyvedeno mimo blok BV do sběrné nádrže NP. V obvodu jsem použil Minimes připojky MS1 pro externí měření parametrů.

2.3 Výpočet parametrů měřicí části a volba hlavních prvků

Průtok kapaliny v obvodu

Pro výpočet parametrů obvodu nejprve stanovím maximální průtok a tlak v obvodu. Jelikož je v zadání práce specifikována pouze velikost měřených rozváděčů, a to nejvýše DN32, určím maximální průtok v obvodu Q_o z průtokové charakteristiky zvoleného rozváděče velikosti DN32 při zvoleném tlakovém spádu. Po konzultaci se zadavatelem práce jsem zvolil tlakový spád na rozváděči $\Delta p = 3,5 \cdot 10^6$ Pa. Maximální průtok v obvodu určím podle průtoku oleje rozváděče velikosti DN32 podle průtokové charakteristiky, viz graf na obr. 3.



Obr. 3 Průtoková charakteristika zvoleného rozváděče 4WRKE velikosti DN32 [10]

Z grafu na obr. 3 je patrný průtok přibližně $Q_o = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). Takto určená hodnota průtoku postačuje, protože se jedná o návrh hydraulického obvodu zkušebního stavu, na kterém se budou měřit různé světlosti rozváděčů při tlakových spádech do $3,5 \cdot 10^6$ Pa. Vyšší hodnota tlakového spádu nemá z energetického hlediska význam, dochází pak ke značnému tepelnému vývinu na rozváděči. Vzhledem k vysoké hodnotě průtoku jsem se rozhodl použít vestavné ventily. Rozváděče menší světlosti samozřejmě lze měřit při vyšších tlakových spádech do dosažení průtoku Q_o .

Maximální tlak kapaliny v potrubním rozvodu zkušebny je $40 \cdot 10^6$ Pa, podle tohoto tlaku a průtoku Q_o jsem zvolil vestavný redukční ventil RV1 firmy Eaton [14]. Parametry zvoleného ventilu jsou následující:

označení ventilu:	F3-CVI-40-X1-50, velikost DN40,
označení krycí desky:	F3-CVCS-40-X3-M-350-20,
označení elektrického řídicího ventilu:	KCG-3-350-D-Z-M-10,
maximální tlak oleje na vstupu:	$40 \cdot 10^6$ Pa,
maximální tlak oleje na výstupu:	$35 \cdot 10^6$ Pa,
maximální průtok oleje:	$1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1020 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Zadané hodnoty pro výpočet:

maximální tlak:	$p_{max} = 35 \cdot 10^6$ Pa,
maximální průtok:	$Q_o = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Stanovení světlosti tlakového vedení kapaliny

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot v_t}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 7}} = \underline{0,055 \text{ m}} \quad (2.1)$$

kde v_t = rychlost proudění kapaliny v tlakovém vedení, volím: $v_t = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

Podle vypočtené světlosti d_t a tlaku p_{max} volím potrubí TRØ70x7 o světlosti 0.056 m.

Skutečná rychlost proudění kapaliny v tlakovém vedení:

$$v_{ts} = \frac{Q_o}{S} = \frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot d_t^2} = \frac{4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 0,056^2} = \underline{6,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (2.2)$$

Stanovení světlosti proudění ve zpětném vedení

$$d_z = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot v_z}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 3}} = \underline{0,084 \text{ m}} \quad (2.3)$$

kde v_z = rychlost proudění kapaliny v tlakovém vedení, volím: $v_z = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Podle vypočtené světlosti d_z volím potrubí TRØ90x2 o světlosti 0.086 m.

Skutečná rychlost proudění kapaliny ve zpětném vedení:

$$v_{zs} = \frac{Q_o}{S} = \frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot d_z^2} = \frac{4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 0,086^2} = \underline{2,87 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (2.4)$$

Stanovení světlosti vedení řídicího tlaku p_x

Maximální průtok v tomto vedení je dán největším řídicím průtokem rozváděčů velikosti DN32, kde dosahuje hodnot až $Q_{xp} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($20 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). Světlost vedení pro zmíněný průtok Q_{xp} :

$$d_{xp} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{xp}}{\pi \cdot v_{xp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,33 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 7}} = \underline{0,0078 \text{ m}} \quad (2.5)$$

kde v_{xp} = rychlost proudění kapaliny v tlakovém vedení, volím: $v_{xp} = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

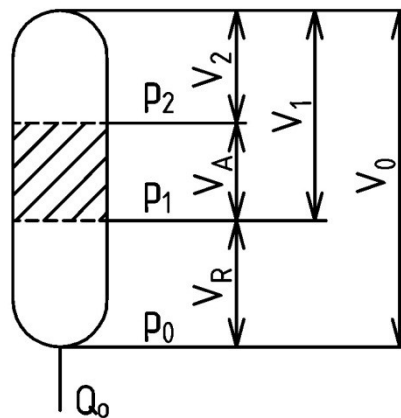
Podle vypočtené světlosti d_{xp} a tlaku p_{max} volím potrubí TRØ14x2.5 o světlosti 0.009 m.

Skutečná rychlost proudění kapaliny:

$$v_{xps} = \frac{Q_o}{S} = \frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot d_{xp}^2} = \frac{4 \cdot 3,33 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0,009^2} = \underline{5,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (2.6)$$

Výpočet a návrh hydraulického akumulátoru

Hydraulický akumulátor AK1 slouží v obvodu jako zdroj tlakové kapaliny v případě velmi rychlého otevření měřeného rozváděče (u regulačních ventilů doba v desítkách milisekund). Regulační hydrogenerátory hlavního agregátu Parker PV 360 [11], u nichž reakční doba ze zavřeného stavu (nulový průtok) na maximální průtok činí 0.18 s, jsou pomalejší, než nejrychlejší proporcionální rozváděče. Během této doby je třeba doplnit tlakový olej do obvodu, aby nedošlo k velkému poklesu tlaku a tím i ke snížení přesnosti měření rozváděče (například u rychlého polohování přímočarého hydromotoru). Pokles tlaku na akumulátoru by měl být co nejmenší, na druhou stranu s menším poklesem tlaku roste velikost akumulátoru. Jako dostatečně malý pokles tlaku volím po konzultaci se zadavatelem práce hodnotu $\Delta p_a = 1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Schéma akumulátoru s parametry je na obr. 4 na následující straně.



Obr. 4 Znázornění výpočtových parametrů v akumulátoru

V_A – využitelný objem, p_1 – minimální tlak, p_2 – maximální tlak, p_0 – plnicí tlak,
 V_0 – celkový objem akumulátoru, V_1 – objem plynu při minimálním tlaku, V_2 – objem
 plynu při maximálním tlaku, V_R – rezervní objem, V_A – využitelný objem kapaliny
 při zvoleném poklesu tlaku, Q_o – maximální průtok oleje

Nejvyšší požadovaný objem kapaliny V_A bude při maximálním průtoku $Q_o = 0,0167 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), přičemž jako nejrychlejší rozváděč pro výpočet použiji třístupňový regulační ventil Bosch Rexroth 4WRDE [10] s dobou plného přestavení u světlosti DN32 $t_R = 0,022 \text{ s}$.

Zadané hodnoty pro výpočet:

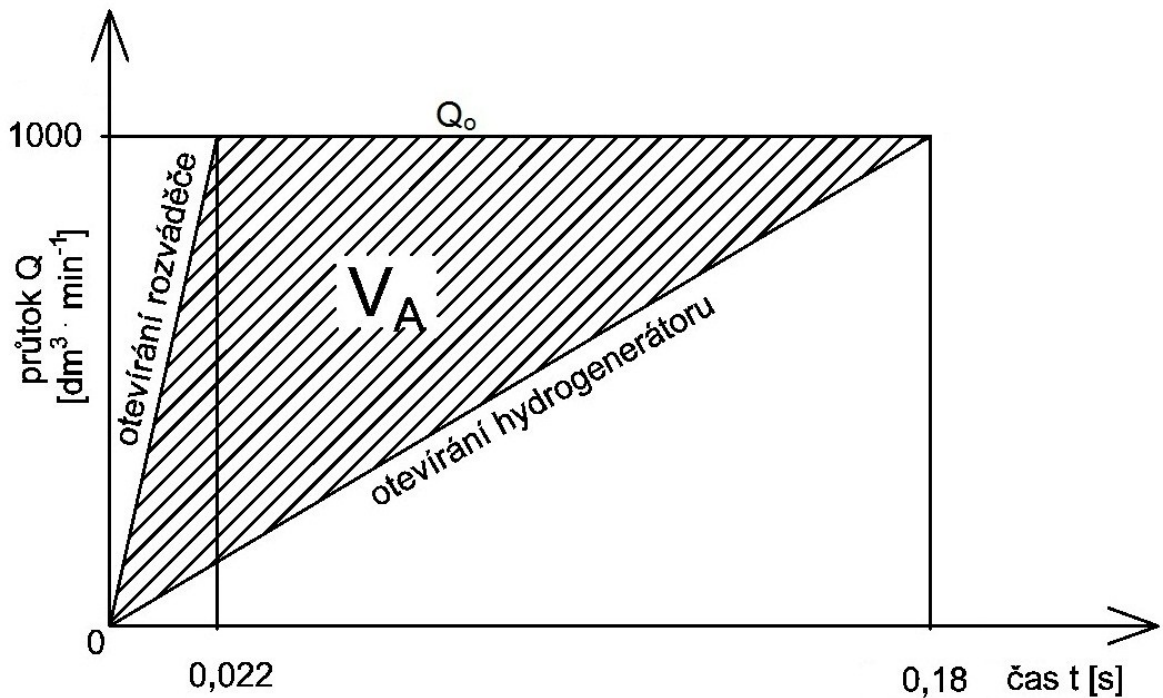
doba přestavení hydrogenerátoru PV 360:	$t_{HG} = 0,18 \text{ s}$,
reakční doba rozváděče 4WRDE:	$t_R = 0,022 \text{ s}$,
maximální průtok oleje v obvodu:	$Q_o = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
maximální tlak v obvodu:	$p_{max} = 35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
maximální pokles tlaku v akumulátoru:	$\Delta p_a = 1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
počet hydrogenerátorů HG v agregátu HHA:	$n_{HG} = 8$,
maximální průtok agregátu HHA:	$Q_{HHA} = 6,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Hydrogenerátorů PV 360 je použito osm s maximálním průtokem $0,0667 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), tudíž jeden hydrogenerátor má skutečný maximální průtok:

$$Q_{HG} = \frac{Q_{HHA}}{n_{HG}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-2}}{8} = 8,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cong \underline{500 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.7)$$

Stanovený průtok Q_{HG} je polovina požadovaného průtoku $Q_o = 1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, a proto budou pracovat dva HG najednou a budou se otevírat na maximum (využije se maximální otevírací doba $t_{HG} = 0,18 \text{ s}$).

Grafické znázornění časového průběhu průtoku oleje je znázorněno na následujícím obrázku. Pro zjednodušení jsem přechodovou charakteristiku rozváděče a otevírání hydrogenerátoru nahradil přímkami.



Obr. 5 Grafické znázornění potřebného objemu V_A oleje k doplnění akumulátorem

Potřebný objem oleje V_A (využitelný objem akumulátoru):

$$V_A = (Q_o \cdot t_{HGp} - Q_o \cdot t_R) / 2 = \frac{Q_o}{2} \cdot (t_{HGp} - t_R)$$

$$V_A = \frac{1,67 \cdot 10^{-2}}{2} \cdot (0,168 - 0,022) = \underline{1,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \quad (2.8)$$

kde t_R = doba přestavení rozváděče 4WRDE [s].

Minimální tlak v akumulátoru:

$$p_1 = p_2 - \Delta p_a = 35 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6 = \underline{34 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \quad (2.9)$$

kde p_2 = maximální tlak v akumulátoru = p_{max} [Pa],

Δp_A je dohodnutý maximální pokles tlaku v akumulátoru [Pa].

Volba typu akumulátoru:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{35 \cdot 10^6}{34 \cdot 10^6} = \underline{1,03} \quad (2.10)$$

- podíl tlaků je menší než 4 [4], volím vakový akumulátor

Plnicí tlak akumulátoru:

$$p_0 = 0,9 \cdot p_1 = 0,9 \cdot 34 \cdot 10^6 = \underline{30,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \quad (2.11)$$

Celkový objem akumulátoru podle [8]:

$$V_0 = \frac{V_A}{\left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} - \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}}} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{30,6}{34}\right)^{\frac{1}{1,4}} - \left(\frac{30,6}{35}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = \underline{0,0642 \text{ m}^3 \cong 64,2 \text{ dm}^3} \quad (2.12)$$

kde κ = polytropický exponent, pro dvouatomové plyny (dusík) roven 1.4.

Podle stanoveného objemu V_0 a pracovního tlaku $35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ volím vakový akumulátor firmy Eaton [14] s těmito hlavními parametry:

typ:	vakový,
označení:	1250G10GBNM21,
objem akumulátoru:	$37,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$,
maximální tlak oleje:	$35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
maximální průtok oleje:	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($908 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Použiji dva menší kusy, každý o objemu $37,9 \text{ dm}^3$. Celkový skutečný objem akumulátorů je tedy:

$$V_{0s} = 2 \cdot V_{0s1} = 2 \cdot 37,9 \cdot 10^{-3} = \underline{75,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cong 75,8 \text{ dm}^3} \quad (2.13)$$

kde V_{0s1} = skutečný objem jednoho akumulátoru [m^3].

Stanovení rezervního objemu:

$$V_R = V_{0s} - V_A - V_2 = V_{0s} - V_A - \frac{V_A}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} - 1}$$

$$V_R = 75,8 \cdot 10^{-3} - 1,22 \cdot 10^{-3} - \frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{35}{34}\right)^{\frac{1}{1,4}} - 1} = \underline{0,0163 \text{ m}^3 \cong 16,3 \text{ dm}^3} \quad (2.14)$$

Výpočet a návrh tlakového filtru

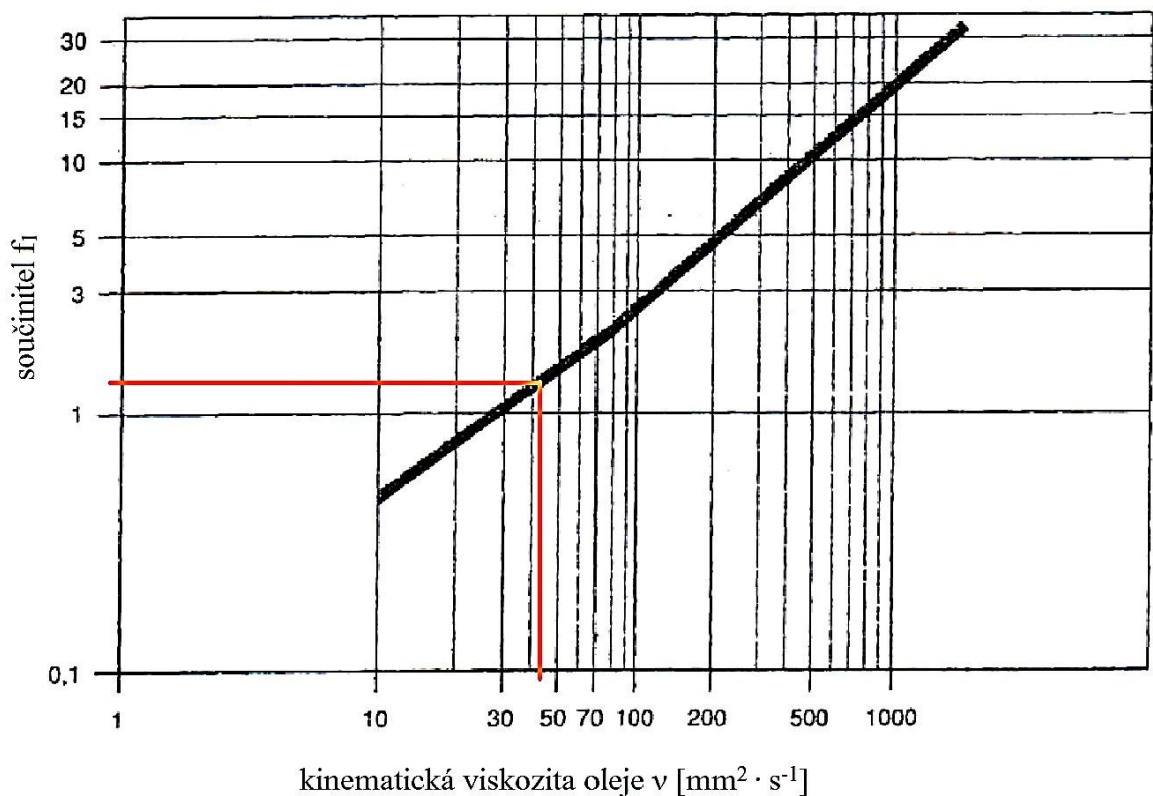
Tlakový filtr použitý v obvodu dodatečně čistí kapalinu před měřeným rozváděčem. Vzhledem k možnosti měření velmi rychlých ventilů (např. Parker DFplus) citlivých na čistotu kapaliny volím filtrační schopnost 5 μm . Maximální průtok oleje je třeba navýšit pomocí koeficientů [8] a podle výsledné hodnoty průtoku Q_F se navrhne tlakový filtr.

$$Q_F = Q_o \cdot f_1 \cdot f_2 \quad (2.15)$$

kde f_1 je součinitel závislý na viskozitě proudící kapaliny [8],

f_2 = součinitel závislý na čistotě okolního prostředí a na četnosti výměn filtrační vložky [8], určuje se v rozmezí 1 až 2,3.

Součinitel f_1 zvolím z grafu na následující straně dle kinematické viskozity proudící kapaliny. Tuto viskozitu určím ze závislosti kinematické viskozity použitého oleje třídy VG 46 na minimální teplotě kapaliny v obvodu, jenž bývá v praxi přibližně 40 °C. Použitý olej se před měřením nejprve zahřeje na minimální teplotu. Proto volím $t_{min} = 42 \text{ °C}$. Této teplotě a oleji třídy VG 46 odpovídá podle Din 51 519 kinematická viskozita $\nu = 43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Obr. 6 Závislost součinitele f_1 na kinematičké viskozitě oleje [2]

Z grafu na obr. 6 jsem podle kinematičké viskozity určil hodnotu součinitele $f_1 = 1,5$. Součinitel f_2 volím roven 1, jelikož zkušební stav bude umístěn v hale bez znečištění vnějším prostředím a také z důvodu, že hydraulické agregáty zkušebny již mají vlastní filtrační jednotky. Výsledný jmenovitý průtok filtrem po dosažení do (2.15) bude:

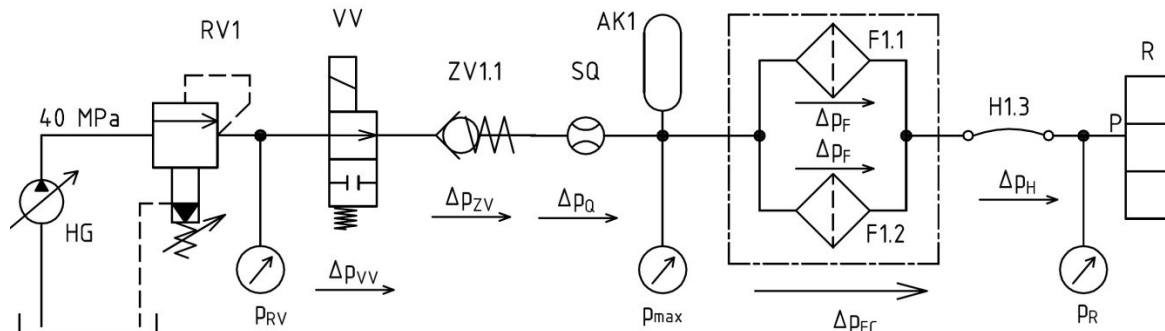
$$Q_F = 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 1 = \underline{2,505 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{1500 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.16)$$

Podle jmenovitého průtoku Q_F a maximálního tlaku $35 \cdot 10^6$ Pa volím dva tlakové filtry firmy Parker [11], řadu 100P2 o jmenovitém průtoku $840 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (jeden filtr), zapojené paralelně, čímž dosáhnout společného průtoku až $1680 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Oba filtry mají elektrickou signalizaci zanesení filtrační vložky (při tlaku $0,5 \cdot 10^6$ Pa) a obtokový ventil s otevíracím tlakem $0,7 \cdot 10^6$ Pa. Parametry filtru jsou následující:

označení:	100P205QBT2MF321,
filtrační schopnost:	5 μm ,
maximální tlak oleje:	$41,4 \cdot 10^6$ Pa,
jmenovitý průtok oleje:	$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($840 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Výpočet tlakové ztráty před rozváděčem

Určení celkové tlakové ztráty je důležité pro určení potřebného vstupního tlaku na redukčním ventilu RV1 a na agregátu. Schéma pro určení potřebného tlaku na redukčním ventilu je na obr. 7:



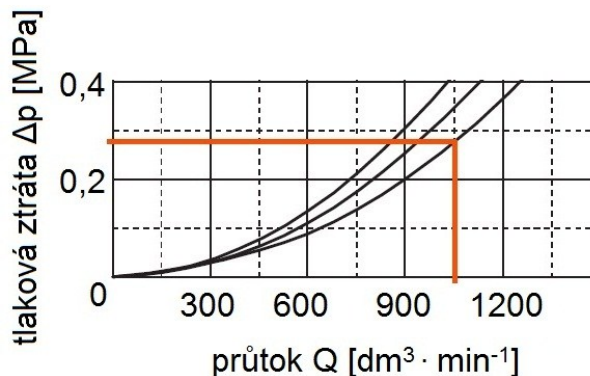
Obr. 7 Zjednodušené schéma pro určení hlavních tlakových ztrát od redukčního ventilu po měřený rozváděč

HG – hydrogenerátor agregátu, RV1 – redukční ventil, VV – vypínací ventil, ZV1.1 – zpětný ventil, SQ – průtokoměr, AK1 – akumulátory, F1 – tlakový filtr, H1.3 – hadice, R – rozváděč

Na redukčním ventilu RV1 se elektricky nastaví vyšší hodnota tlaku tak, aby tlak p_R naměřený snímačem SP1.3 na vstupu měřeného rozváděče odpovídal požadované hodnotě. Hlavní tlakové ztráty určíme z průtokových charakteristik uvedených prvků při průtoku $Q_o = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

a) vypínací ventil VV

Vzhledem k vysoké hodnotě průtoku volím vestavný 2/2 ventil firmy Atos velikosti DN40, jehož závislost tlakové ztráty na průtoku je zobrazena na obr. 8. Jedná se o vestavný ventil řízený 4/2 rozváděčem s elektromagnetem. Vypínací ventil je v klidovém stavu (bez proudu) uzavřen.



Obr. 8 Δp - Q charakteristika vestavného vypínacího ventilu Atos [12]

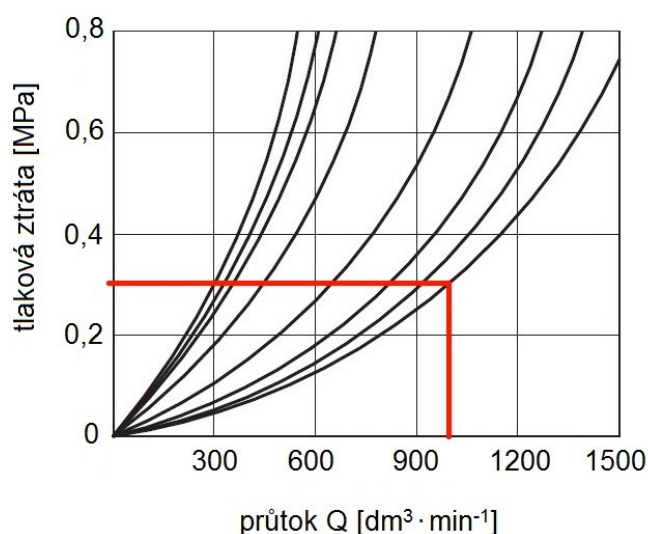
Základní parametry vypínacího ventilu velikosti DN40:

označení:	LIDASH-40313-I-X24DC,
maximální tlak oleje:	$35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
maximální průtok oleje:	$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1500 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Z grafu na obr. 8 jsem určil tlakovou ztrátu zpětného ventilu $\Delta p_{VV} = 0,28 \text{ MPa}$.

b) zpětný ventil ZV1.1

Volím vestavný zpětný ventil firmy Atos velikosti DN40, jehož závislost tlakové ztráty na průtoku je zobrazena na obr. 9.



Obr. 9 Δp -Q charakteristika vestavného zpětného ventilu Atos [12]

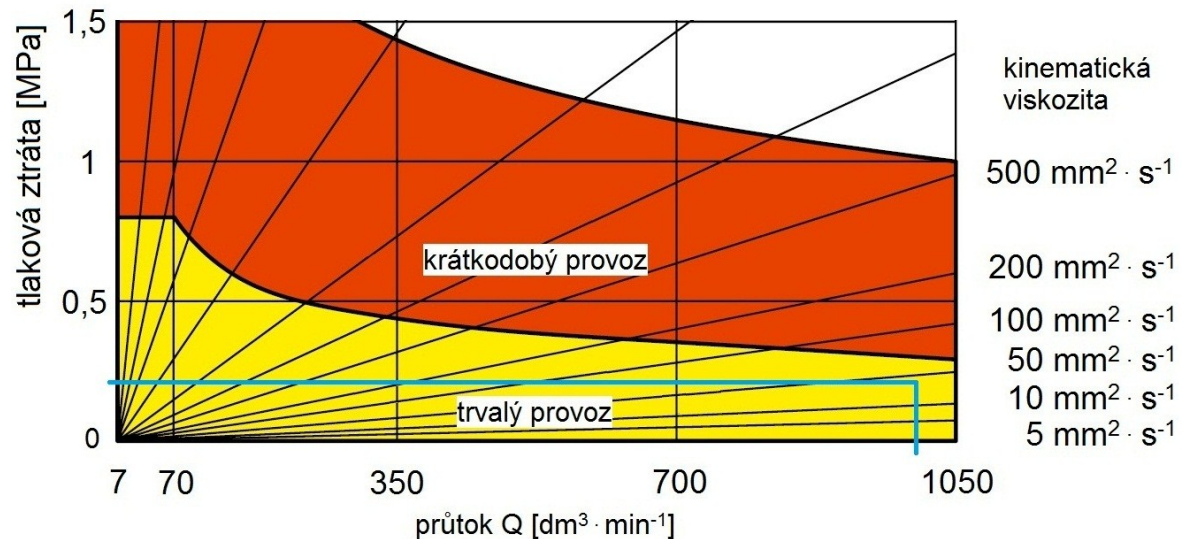
Základní parametry zpětného ventilu:

označení vestavného ventilu:	SCLI-40521, velikost DN40,
označení krycí desky:	LIDA-4/F,
maximální tlak oleje:	$35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
maximální průtok oleje:	$2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($1400 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Z grafu na obr. 9 jsem určil tlakovou ztrátu zpětného ventilu $\Delta p_{ZV} = 0,3 \text{ MPa}$.

c) průtokoměr SQ

Vzhledem k velkému maximálnímu průtoku a požadované přesnosti měření ve velkém rozsahu průtoku volím vřetenový průtokoměr firmy Kral [13]. Graf závislosti tlakové ztráty na průtoku a viskozitě kapaliny je na obr. 10:



Obr. 10 Δp -Q charakteristika vřetenového průtokoměru Kral [12]

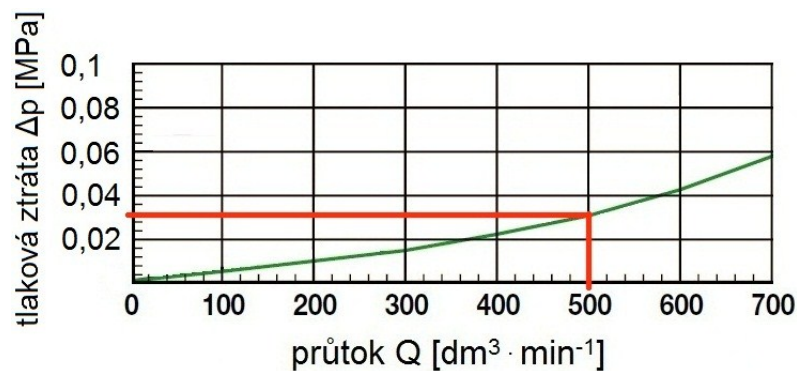
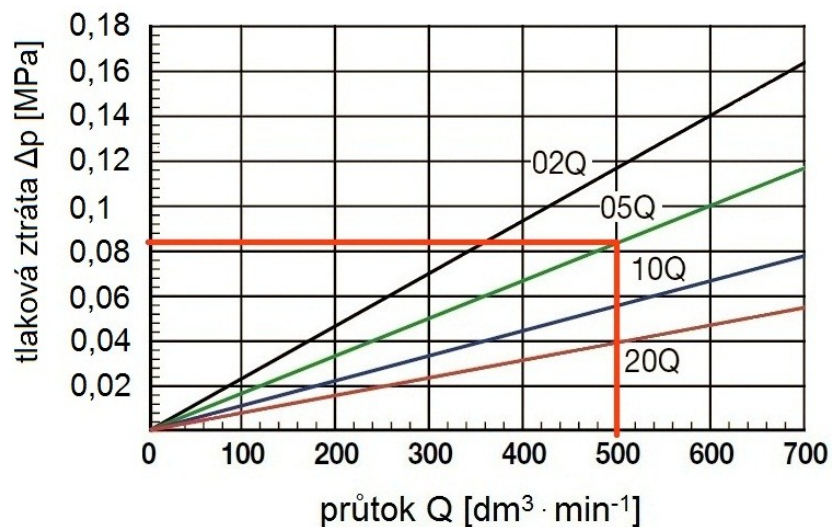
Parametry zvoleného průtokoměru Kral:

typ:	OMH 68, vřetenový,
maximální tlak oleje:	$42 \cdot 10^6$ Pa,
měřicí rozsah průtoku:	$1,167 \cdot 10^{-4}$ až $1,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (7 až $1050 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$),
přesnost:	$\pm 0,1 \%$ (v dané viskozitě).

Z grafu na obr. 10 jsem pro kinematickou viskozitu $43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a maximální průtok v obvodu určil tlakovou ztrátu průtokoměru $\Delta p_Q = 0,2 \text{ MPa}$.

d) tlakový filtr F1

Tlakovou ztrátu filtru odečtu z grafů výrobce na obr. 11 a 12. Vyjadřují tlakové ztráty tělesa filtru a filtrační vložky. Odečet probíhá při polovičním průtoku $500 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ z důvodu použití dvou filtrů paralelně.

Obr. 11 Δp - Q charakteristika tělesa filtru Parker [11]Obr. 12 Δp - Q charakteristika filtrační vložky podle její filtrační schopnosti [11]

Tlaková ztráta tělesa filtru má hodnotu $\Delta p_{Ft} = 0,031$ MPa, tlaková ztráta filtrační vložky v případě jemnosti $5 \mu\text{m}$ (označení 05Q) činí $\Delta p_{Fv} = 0,084$ MPa. Uvedené charakteristiky výrobce uvádí při kinematické viskozitě $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, je tedy nutné tlakové ztráty přepočítat podle viskozity v použité kapaliny.

Celková ztráta na jednom filtru podle [11] bude:

$$\Delta p_F = \Delta p_{Ft} + \Delta p_{Fv} \cdot \frac{\nu}{30 \cdot 10^{-6}} = 3,1 \cdot 10^4 + 8,4 \cdot 10^4 \cdot \frac{43 \cdot 10^{-6}}{30 \cdot 10^{-6}} = \underline{1,514 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \quad (2.17)$$

V obvodu jsem z důvodu vysokého průtoku Q_o použil dva paralelně zapojené filtry, proto se celková tlaková ztráta určí podle následujícího vztahu:

$$\Delta p_{FC} = \frac{\Delta p_F \cdot \Delta p_F}{\Delta p_F + \Delta p_F} = \frac{(1,514 \cdot 10^5)^2}{1,514 \cdot 10^5 + 1,514 \cdot 10^5} = \underline{7,57 \cdot 10^4 \text{ Pa}} \quad (2.18)$$

e) tlaková hadice H1.3

Při výpočtu tlakové ztráty hadice H1.3 volím z hlediska manipulace hadicí světlosti $d_H = 0,025$ m, s hadicí větší světlosti by se špatně manipulovalo. Pro výpočet tlakové ztráty předpokládám délku hadice $l_H = 1,5$ m a viskozitu použitého oleje $\nu = 43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zadané hodnoty pro výpočet:

světlost hadice:	$d_H = 0,025$ m,
délka hadice:	$l_H = 1,5$ m,
kinematická viskozita:	$\nu = 43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
průtok kapaliny:	$Q_o = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
Rychlost proudění kapaliny:	

$$v_H = \frac{Q_o}{S} = \frac{4 \cdot Q_o}{\pi \cdot d_H^2} = \frac{4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 0,025^2} = \underline{34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (2.19)$$

Reynoldsovo číslo:

$$\text{Re} = \frac{v_H \cdot d_H}{\nu} = \frac{34 \cdot 0,025}{43 \cdot 10^{-6}} = \underline{19767} \quad (2.20)$$

Součinitel třecích ztrát pro případ ohnuté hadice:

$$\lambda = \frac{108}{\text{Re}} = \frac{108}{19767} = \underline{5,463 \cdot 10^{-3}} \quad (2.21)$$

Tlaková ztráta hadice:

$$\Delta p_H = \lambda \cdot \frac{l_H}{d_H} \cdot \frac{v_H^2}{2} \cdot \rho = 5,463 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1,5}{0,025} \cdot \frac{34^2}{2} \cdot 880 = \underline{166722 \text{ Pa}} \quad (2.22)$$

Teoretický maximální tlak na vstupním šroubení P bloku PB při průtoku Q_o :

$$p_R = p_{RV} - \Delta p_{VV} - \Delta p_{ZV} - \Delta p_Q - \Delta p_{FC} - \Delta p_H$$

$$p_R = 35 \cdot 10^6 - 0,28 \cdot 10^6 - 0,3 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6 - 7,57 \cdot 10^4 - 1,67 \cdot 10^5$$

$$\underline{p_R = 33,98 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \quad (2.23)$$

Tento tlak bude ve skutečnosti nižší o tlakové ztráty na použitém šroubení ve vedení a v bloku BV.

2.4 Návrh obvodu s přímočarými hydromotory

Popis obvodu

Schéma navrženého obvodu je uvedeno v příloze C – výkres s číslem KOS376-D-2 a specifikace prvků v příloze D – výkres číslo KOS376-D-2S. Obvod s přímočarými hydromotory slouží k praktickému simulování řízení přímočarého hydromotoru s polohovou zpětnou vazbou a hydraulickou zátěží. Hydromotor HVO řízený měřeným rozváděčem R slouží k vyvození pohybu, druhý hydromotor HVZ simuluje zátěž se silovým nebo rychlostním omezením. Jelikož by v případě oboustranné pístnice docházelo k multiplikaci tlaku, volím oba přímočaré hydromotory s jednostrannou pístnicí stejné velikosti umístěné proti sobě. Hydraulický obvod hydromotoru obsahuje dva třicestné kulové kohouty pro volbu mezi zátěží pojistným ventilem (vyvozena konstantní síla zátěže) nebo škrticími ventily s tlakovou váhou (vyvozena konstantní rychlost zátěže). Z důvodu použití hydromotoru s jednostrannou pístnicí jsem v obvodu umístil malou olejovou nádrž pro přísávání kapaliny.

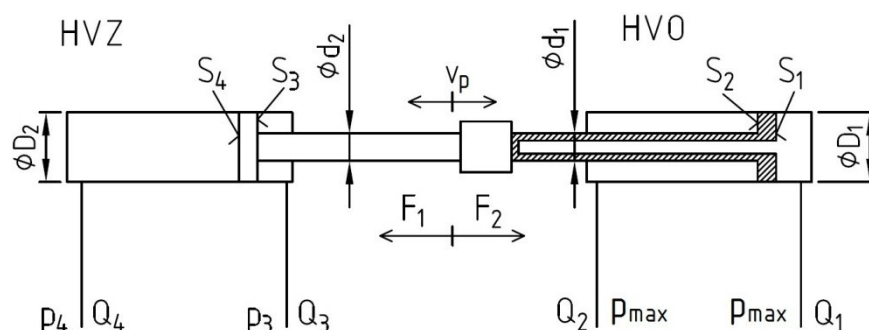
Popis funkce obvodu

Po spuštění měření s polohováním přímočarého hydromotoru začne kapalina proudit z obvodu měřicí části zkušebního stavu do hydromotoru HVO (pravý horní roh přílohy C). Tento hydromotor obsahuje integrovaný snímač odměřování vysunutí pístnice. Pístnice válce HVO se začne pohybovat a pevnou vazbou uvede do pohybu taktéž pístnici hydromotoru HVZ. Tím vznikne v potrubí hydromotoru HVZ průtok kapaliny, jejíž tlak je měřen snímači S2.1 a S2.2 pro kontrolu nastavené síly. Přes zpětné ventily ZV2.1 a ZV2.2 kapalina proudit nemůže, proudí tedy přes třicestné kohouty TKV2 a TKV3. Při zatížení konstantní silou se kohouty přestaví tak, aby kapalina proudila přes pojistné ventily PV3.1 a PV3.2. Při zatížení konstantním průtokem se kulové kohouty přestaví směrem do škrticích ventilů ŠV1.1 a ŠV1.2, které spolu s tlakovými váhami TV1.1 a TV1.2 udržují nastavený průtok na požadované hodnotě. Výstupy pojistných, zpětných a škrticích ventilů s tlakovými váhami jsou propojeny a jedním potrubím vedeny do hliníkové nádrže NZ, jež jsem použil z důvodu rozdílného průtoku kapaliny v potrubí přímočarého hydromotoru HVZ. V případě uzavřeného obvodu by při vysouvání HVZ vznikl nedostatek kapaliny (objem prostoru pod pístem je větší, než pod mezikruží) a proto je třeba přisát kapalinu do obvodu. K tomuto účelu slouží přísávací zpětné ventily ZV2.1 a ZV2.2. Jakmile se začne pístnice hydromotoru HVZ vysouvat, kapalina z prostoru pod mezikružím je tlačena přes zátěžové ventily do nádrže. Jelikož je plocha pístu větší, než mezikruží, je třeba do prostoru pod pístem doplnit více kapaliny, než je vytlačováno z prostoru pod mezikružím.

Tento chybějící objem je přisán přes zpětný ventil ZV2.1. Použití hliníkové nádrže s žebrovaním je výhodné i z hlediska chlazení oleje, jenž se během škracení zahřívá. Měření však prakticky nikdy nebude trvat déle, než několik minut, a tudíž se nepočítá se umístěním chladiče oleje do nádrže NZ. V obvodu jsem použil dvě přípojky MS2 pro externí připojení snímačů.

2.5 Výpočet parametrů obvodu s přímočarými hydromotory a volba hlavních prvků

Schéma zátěžové části s hydromotory je na obr. 13, při návrhu budu vycházet pouze z maximálního tlaku v obvodu p_{max} . Další vstupní parametry jsou zvoleny.



Obr. 13 Schéma zátěžové části pro výpočet parametrů

HVZ – zátěžový hydromotor, HVO – řídicí hydromotor s odměřováním

Návrh přímočarého hydromotoru HVO řízeného měřeným rozváděčem R

Zadané hodnoty:

Maximální tlak v obvodu: $p_{max} = 35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

Vzhledem k maximálnímu tlaku v obvodu volím pro návrh přímočarý hydromotor Bosch Rexroth CSH3 MS2 [10] s odměřováním vysunutí a jednostrannou pístnicí. Průměr pístu D_I volím z tabulky velikostí tak, abych získal co nejvyšší maximální rychlost v_{max} pohybu pístu při co největším průměru D_I .

Vstupní hodnoty pro výpočet a parametry zvoleného hydromotoru:

označení zvoleného hydromotoru: CSH3MS2/100/70/500A3X/B22CAURZTD AWY

průměr pístu: $D_I = 0,1 \text{ m}$,

průměr pístnice: $d_I = 0,07 \text{ m}$,

maximální rychlost vysouvání a zasouvání pístnice: $v_{max} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

zvolená rychlost vysouvání a zasouvání pístnice:	$v_p = 0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
zdvih hydromotoru:	$l_l = 0,5 \text{ m}$,
maximální tlak v hydromotoru:	$35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$.

Plocha pístu S_1 :

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1^2 = \underline{7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad (2.24)$$

Plocha mezikruží S_2 :

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1^2 - 0,07^2) = \underline{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad (2.25)$$

Maximální využitelný průtok rozváděče R při řízení vysouvání hydromotoru HVO:

$$Q_1 = S_1 \cdot v_p = 7,854 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 = \underline{1,492 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{89,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.26)$$

Maximální využitelný průtok rozváděče R při řízení zasouvání hydromotoru HVO:

$$Q_2 = S_2 \cdot v_p = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 = \underline{7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{45,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.27)$$

Tlačná síla F_1 :

$$F_1 = p_{\max} \cdot S_1 = 35 \cdot 10^6 \cdot 7,854 \cdot 10^{-3} = \underline{274890 \text{ N}} \quad (2.28)$$

Tažná síla F_2 :

$$F_2 = p_{\max} \cdot S_2 = 35 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = \underline{140000 \text{ N}} \quad (2.29)$$

Návrh přímočarého hydromotoru HVZ simulujícího zátěž

Pístnice hydromotoru HVZ je vysouvána a zasouvána pomocí hydromotoru HVO. Při použití zátěžového hydromotoru s oboustrannou pístnicí by z důvodu malé plochy mezikruží došlo k multiplikaci tlaku, proto jako zátěžový hydromotor volím hydromotor s jednostrannou pístnicí se stejnými rozměry pístu a pístnice, jako u válce HVO. Vybraný hydraulický válec je typu Bosch Rexroth CDH3 MS2 [10].

Vstupní hodnoty pro výpočet a parametry zvoleného hydromotoru:

označení:	CDH3MS2/100/70/505A3X/B44CAURZWFAW
průměr pístu:	$D_2 = 0,1 \text{ m}$,
průměr pístnice:	$d_2 = 0,07 \text{ m}$,

zdvih:	$l_2 = 0,505 \text{ m},$
maximální rychlost posuvu pístnice:	$v_{max} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$
maximální tlak v hydromotoru:	$35 \cdot 10^6 \text{ Pa}.$

Zdvih válce volím o 5 mm delší, než u válce HVO, jako montážní rezervu, aby píst válce HVZ nikdy nenarazil na víko válce a proto neomezuje válec HVO na konci zdvihu. Rychlost posuvu pístu díky pevnému spojení obou pístnic stejná, jako u válce HVO, tedy $v_p = 0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Plocha pístu S_4 :

$$S_4 = \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,1^2 = \underline{7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad (2.30)$$

Plocha mezikruží S_3 :

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1^2 - 0,07^2) = \underline{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad (2.31)$$

Maximální průtok Q_4 vyvozený pohybem pístnice:

$$Q_4 = S_4 \cdot v_p = 7,854 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 = \underline{1,492 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{89,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.32)$$

Maximální průtok Q_3 vyvozený pohybem pístnice:

$$Q_3 = S_3 \cdot v_p = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,19 = \underline{7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{45,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.33)$$

Tlak p_4 v zátěžovém obvodu vyvozený silou F_1 :

$$p_4 = \frac{F_1}{S_4} = \frac{274890}{7,854 \cdot 10^{-3}} = \underline{35 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \quad (2.34)$$

Tlak p_3 v zátěžovém obvodu vyvozený silou F_2 :

$$p_3 = \frac{F_2}{S_3} = \frac{140000}{4 \cdot 10^{-3}} = \underline{35 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \quad (2.35)$$

Návrh přísávací nádrže NZ

Velikost nádrže se stanovuje ze stálého průtoku oleje v obvodu. V tomto případě však nebude průtok konstantní a bude záviset na zvoleném průběhu řízení hydromotoru HVO. Sání kapaliny z nádrže bude probíhat jen tehdy, když se bude hydromotor HVZ vysouvat a

hydromotor HVO zasouvat. Pro výpočet volím počet cyklů celého přesunutí hydromotoru HVZ za minutu $k = 2$.

Zadané hodnoty pro výpočet:

průměr pístu:	$D_2 = 0,1 \text{ m},$
průměr pístnice:	$d_2 = 0,07 \text{ m},$
zdvih (určen hydromotorem HVO):	$l_1 = 0,5 \text{ m},$
rychlost posuvu pístnice:	$v_p = 0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$
průtok oleje vyvozen plochou mezikruží HVZ:	$Q_3 = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1},$
průtok oleje vyvozen plochou pod pístem HVZ:	$Q_4 = 1,492 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$

Doba vysouvání hydromotoru HVZ:

$$t_v = \frac{l_1}{v_p} = \frac{0,5}{0,19} = \underline{2,63 \text{ s}} \quad (2.36)$$

Celková doba vysouvání hydromotoru HVZ během jedné minuty:

$$t_c = k \cdot t_v = 2 \cdot 2,63 = \underline{5,26 \text{ s}} \quad (2.37)$$

Průtok v sacím potrubí z nádrže při vysouvání HVZ:

$$Q_s = Q_4 - Q_3$$

$$Q_s = 1,492 \cdot 10^{-3} - 7,6 \cdot 10^{-4} = \underline{7,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{43,92 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.38)$$

Uvedený průtok Q_s působí po dobu t_c během jedné minuty, dále z něj určím průměrný sací průtok působící po celou dobu jedné minuty:

$$Q_{sp} = \frac{Q_s \cdot t_c}{60} = \frac{7,32 \cdot 10^{-4} \cdot 5,26}{60} = \underline{6,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \cong \underline{3,85 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \quad (2.39)$$

Určení objemu nádrže NZ:

$$V_{NZ} = n \cdot Q_{sp} \cdot 6 \cdot 10^4 = 3 \cdot 6,42 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^4 = \underline{11,5 \text{ dm}^3} \quad (2.40)$$

kde n je oběhové číslo od 3 do 5, volím $n = 3$.

Volím malou hliníkovou nádrž firmy Hydroma [15] o objemu $V_{NZ} = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ ($11,5 \text{ dm}^3$).

3. NÁVRH ZPŮSOBU DIAGNOSTIKY PROPORCIONÁLNÍCH ROZVÁDĚČŮ

Cílem zkušebního stavu pro měření proporcionálních rozváděčů je získat nejen statické údaje o základních parametrech rozváděče (tlak, průtok, průsaky), ale také jeho dynamické vlastnosti. Všechny získané údaje se nejlépe reprodukuje pomocí charakteristik.

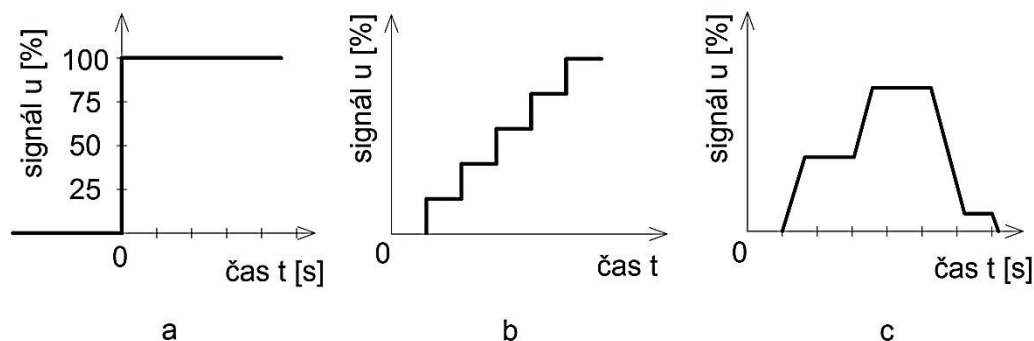
Charakteristiky lze rozdělit na: a) statické,
b) dynamické.

Statická charakteristika je grafický průběh vytvořený z měření jednotlivých bodů grafu nezávisle na čase. Pro její změření není třeba složitých měřicích přístrojů s pamětí. Dynamická charakteristika je charakteristika závislá na čase a na průběhu vstupního testovacího signálu. Jelikož se jedná o reakci na vstupní signál, je třeba jej zachytit velmi podrobně, a proto se k tomuto účelu používají elektronické měřicí přístroje s pamětí. Dle normy ČSN 119003 je nutné u přístroje s průběžným záznamem provést minimálně deset měření. Diagnostiku proporcionálního ventilu lze rozdělit na dva druhy:

- měření statické a dynamické charakteristiky a jejich porovnání s údaji výrobce,
- měření parametrů ventilu ovlivňujících přímo jeho funkčnost (průtokové ztráty, přesnost řízení).

3.1 Testovací signály

Vstupní testovací signály se používají při měření charakteristik. Vybraný testovací signál u je přiveden na vstup řídicí karty měřeného rozváděče a měří se výsledné parametry v obvodu, např. průtok. Podle typu měření na zkušebním stavu existují tři druhy signálu u , viz obr. 13:



Obr. 14 Příklady jednotlivých typů testovacích signálů

a – signál jednotkového skoku, b – schodišťový signál, c – polohovací signál

Signál jednotkového skoku se využije při měření přechodové charakteristiky rozváděče (kapitola 3.4). U schodišťového signálu se postupně skokově zvyšuje hodnota signálu a měří se ustálené parametry v obvodu, např. zvyšuje se hodnota vysunutí šoupátka a měří se ustálený průtok (viz $h - Q$ charakteristika v kapitole 3.3). Polohovací signál se použije při řízení polohy přímočarého hydromotoru (viz kapitola 3.6).

3.2 Měřicí snímače zkušebního stavu

V obvodu zkušebního stavu jsem použil snímače pro měření tlaku, teploty, průtoku a délky vysunutí pístnice. Popis jednotlivých snímačů je uveden níže.

Snímače tlaku SP1 a SP2

Výrobce, typ:	Parker SCP-400-24-06, piezoelektrický,
Měřicí rozsah:	0...40 MPa,
Přesnost:	$\pm 0,5 \%$.

Snímač tlaku a teploty SPT

Výrobce, typ:	Parker SCPT-400-02-02, piezoelektrický,
Měřicí rozsah:	0...40 MPa, - 25 °C...+ 105 °C
Přesnost:	$\pm 0,5 \%$ (tlak), $\pm 1,5 \%$ (teplota).

Průtokoměr SQ

Výrobce, typ:	Kral OMH68, vřetenový
Měřicí rozsah:	7...1050 dm ³ · min ⁻¹ ,
Přesnost:	$\pm 0,1 \%$.

Snímač vysunutí pístnice hydromotoru HVO

Výrobce, typ:	Bosch Rexroth, magnetostrikční, vestavěný,
Maximální měřená délka:	3 m,
Rozlišení:	5 μm (digitální výstup).

Před samotným měřením je důležité provést přípravu k měření. Tato příprava obsahuje vše od kontroly měřicího stavu po kontrolu tlaku v obvodu. Tlak ve větvi P rozváděče a řídicí tlak P_x je vhodné nastavit dle údajů výrobce rozváděče. Následující postupy se vztahují k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

Příprava k měření:

- 1) provést vizuální kontrola zkušebního stavu ohledně úniku oleje,
- 2) zkontrolovat nulový přetlak na manometru M1.1 (akumulátor bez tlaku);
v případě, že zde tlak je, otevřít kulový kohout DKV1 a DKV5.1 a počkat, dokud tlak neklesne na nulu,
- 3) uzavřít kulový kohout DKV5.1,
- 4) uchytit připojovací blok příslušné světlosti ke stolu stavu,
- 5) připevnit měřený rozváděč k připojovacímu bloku PB,
- 6) propojit blok PB a rozváděč R se zkušebním stavem pomocí hadic tak, aby hadice byly jen lehce prověšené, nebyly zkroucené, příliš ohnuté a nehrozilo v případě tlakové špičky jejich prudké vymrštění. Pro propojení použijeme správnou velikost hadice (DN25 nebo DN10 podle velikosti rozváděče),
- 7) připojit ovládací elektrický konektor k rozváděči, propojit snímače tlaku SP1.1 až SP1.4 a snímač polohy šoupátka (pokud je použit) s konektory zkušebního stavu,
- 8) otevřít propojovací kulové kohouty DKV4.2 až DKV4.5, uzavřít ochrannou stěnu,
- 9) zapnout hlavní vypínač zkušebního stavu,
- 10) spustit ovládací panel zkušebního stavu, spustit hydraulické agregáty,
- 11) nastavit nejnižší tlak na redukčním ventilu RV1, v případě externího řídicího tlaku rozváděče nastavit požadovaný tlak na redukčním ventilu RV2 a otevřít kulový kohout DKV5.2,
- 12) otevřít kulové kohouty DKV1, DKV4.1,
- 13) přestavit kulové kohouty TKV1.1 a TKV1.2 do polohy zatížení pojistnými ventily,
- 14) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 15) provést odvzdušnění - tři přestavení měřeného rozváděče R z jedné krajní polohy šoupátka do druhé při průtoku o velikosti 10 % ze jmenovité hodnoty,
- 16) zkontrolovat na manometru M1.3, zda je tlak oleje nastavený na hydraulickém agregátu zkušebny vyšší, než požadovaný tlak v obvodu.

Postup po ukončení měření:

- 1) uzavřít kulový kohout DKV4.1, DKV5.2 (pokud byl použit),
- 2) nastavit nejnižší tlak na redukčním ventilu RV1 a RV2 (pokud byl použit),
- 3) vypnout hydraulický agregát (pokud jej nevyužívají jiné zkušební stavy), ovládací panel a hlavní vypínač zkušebního stavu,
- 4) pokud nedošlo k vypuštění akumulátoru, otevřít kohout DKV5.1,

- 5) otevřít ochrannou stěnu zkušebního stavu,
- 6) uzavřít kulové kohouty DKV1, DKV4.2 až DKV4.5,
- 7) odpojit ovládací konektor rozváděče, snímačů tlaků, a případně snímače polohy šoupátka od bloku PB a rozváděče,
- 8) odpojit propojovací hadice, odšroubovat rozváděč z bloku PB a demontovat blok PB s rozváděčem ze stolu zkušebního stavu.

3.3 Měření statických charakteristik

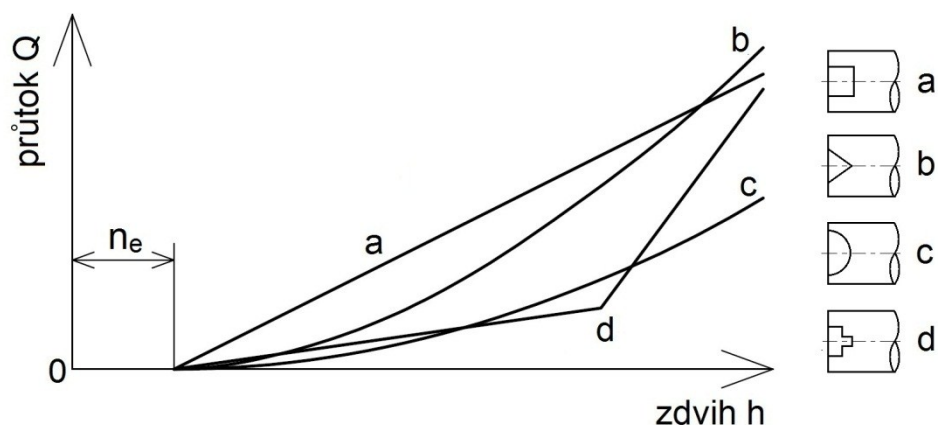
Měření průtokové $h - Q$ charakteristiky

Průtoková $h - Q$ charakteristika zobrazuje závislost průtoku Q oleje rozváděčem na posunutí h šoupátka z nulové polohy. Tvar výsledné charakteristiky závisí na tvaru škrticí drážky v šoupátku měřeného rozváděče. Měření je statické, neboli pro každou polohu šoupátka rozváděče se zaznamená jedna hodnota průtoku. Následující postup se vztahuje k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

Postup měření:

- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 do polohy zatížení pojistnými ventily PV2.1 a PV2.2,
- 3) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 4) uzavřít kulový kohout DKV₂,
- 5) spustit měření,
- 6) nastavit požadovaný tlak oleje na redukčním ventilu RV1,
- 7) nastavit požadovaný posuv h šoupátka měřeného rozváděče,
- 8) provést záznam průtoku Q průtokoměrem SQ odpovídajícího první poloze šoupátka,
- 9) podle zvoleného počtu měření opakovat body 7) a 8),
- 10) ukončit měření, z naměřených hodnot průtoků a zvolených poloh šoupátka vytvořit průtokové $h - Q$ charakteristiky proložením naměřených bodů spojnicí trendu.

Příklad $Q - \Delta p$ charakteristik je zobrazen na obr. 15 na následující straně.



Obr. 15 Závislost průtoku na tvaru drážky a vysunutí šoupátka

a – obdélník, b – půlkruh, c – trojúhelník, d – stupňovitý obdélník, n_e - necitlivost

Na obr. 15 je patrná oblast necitlivosti korigující nechtěné záchvěvy šoupátka např. vlivem vibrací stroje, v rozsahu až 25 % z celkového zdvihu.

Měření statické $I/I_{\max} - Q$ charakteristiky

Statická $I/I_{\max} - Q$ charakteristika rozváděče zobrazuje závislost průtoku oleje rozváděčem na poměrné velikosti řídicího proudu v procentech a zvoleném tlakovém spádu Δp na rozváděči. Nejpoužívanější tlakové spády jsou 1 MPa, 2 MPa, 3 MPa, 5 MPa a 10 MPa. Následující postup se vztahuje k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

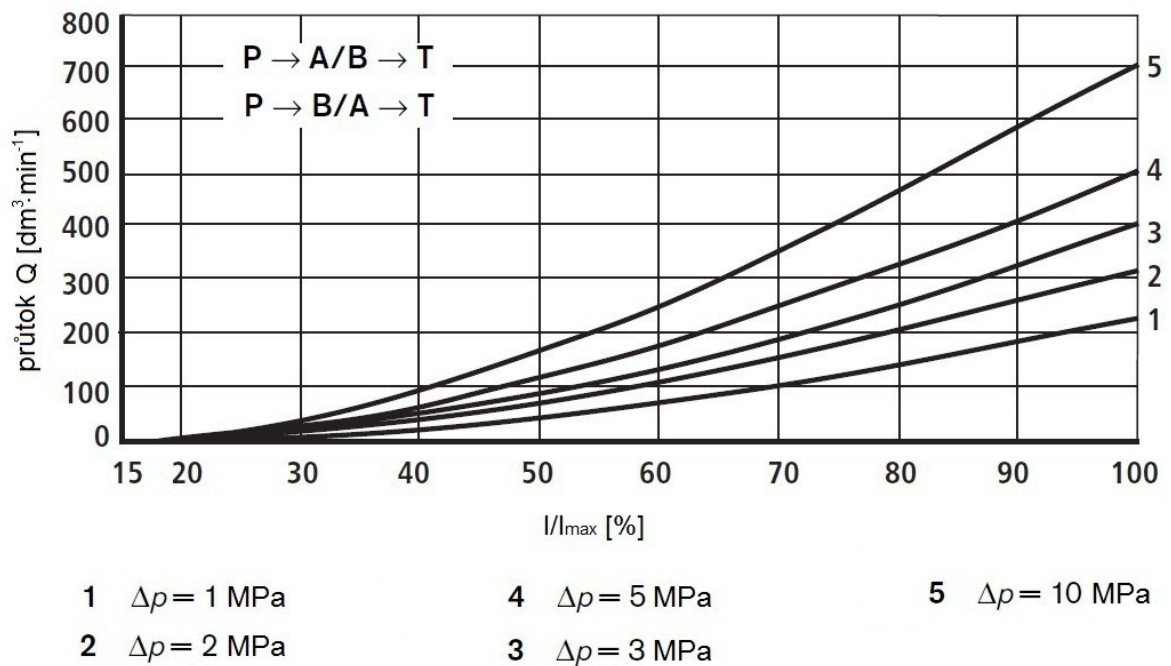
Postup měření:

- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 do polohy zatížení pojistnými ventily PV2.1 a PV2.2,
- 3) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 4) uzavřít kulový kohout DKV2,
- 5) spustit měření,
- 6) nastavit požadovaný tlak oleje na redukčním ventilu RV1,
- 7) nastavit požadovanou hodnotu řídicího proudu I ,
- 8) provést změnu tlaku za pomoci pojistných ventilů PV2.1 a PV2.2 a redukčního ventilu RV1 tak, aby rozdíl tlaků na redukčním ventilu RV1 a ventilech PV2.1 a PV2.2 byl roven požadovanému tlakovému spádu Δp na rozváděči,
- 9) provést záznam průtoku Q do paměti systému,
- 10) podle zvoleného počtu měření opakovat body 7), 8) a 9),

- 11) ukončit měření, z naměřených hodnot průtoků a zvolených poloh šoupátka vytvořit průtokové $I/I_{\max} - Q$ charakteristiky proložením naměřených bodů spojnici trendu.

Pro další tlakové spády Δp na rozváděči se budou body 6) až 10) opakovat.

Příklad $I/I_{\max} - Q$ charakteristiky je zobrazen na obr. 16.



Obr. 16 Statická $I/I_{\max} - Q$ charakteristika rozváděče Rexroth 4WRZ 25, jmenovitý průtok $220 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ [10]

Měření $Q - \Delta p$ charakteristiky

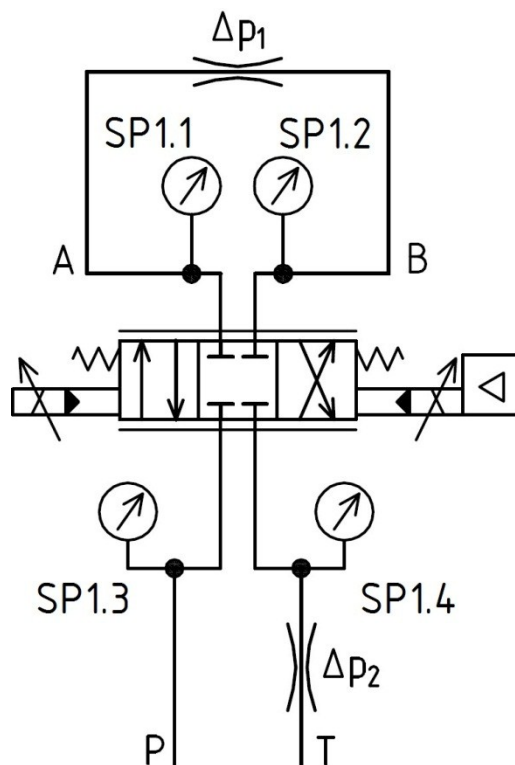
Statická $Q - \Delta p$ charakteristika rozváděče zobrazuje závislost tlakové ztráty rozváděče na průtoku Q proudícího oleje v dané průtokové cestě. Prostor mezi hranou šoupátka a tělesa rozváděče se chová jako místní odpor a vzniká zde tlaková ztráta Δp_s . Následující postup se vztahuje k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

Postup měření:

- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 do polohy zatížení pojistnými ventily PV2.1 a PV2.2,
- 3) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 4) uzavřít kulový kohout DKV2,
- 5) spustit měření,

- 6) nastavit požadovaný tlak oleje na redukčním ventilu RV1,
- 7) nastavit požadovaný průtok pomocí řídicí karty rozváděče,
- 8) provést záznam tlaků z tlakových snímačů SP1.1 až SP1.4,
- 9) podle zvoleného počtu měření opakovat body 7), 8) a 9),
- 10) ukončit měření, ze získaných hodnot tlaků a zvolených průtoků oleje vytvořit statické $Q - \Delta p_s$ charakteristiky proložením naměřených bodů spojnicí trendu.

Pro příklad vyhodnocení tlaků volím třípolohový, čtyřcestný rozváděč s šoupátkem typu E (uzavřený střed). Na obr. 17 je zobrazeno schéma měření tlaků na větvích rozváděče:



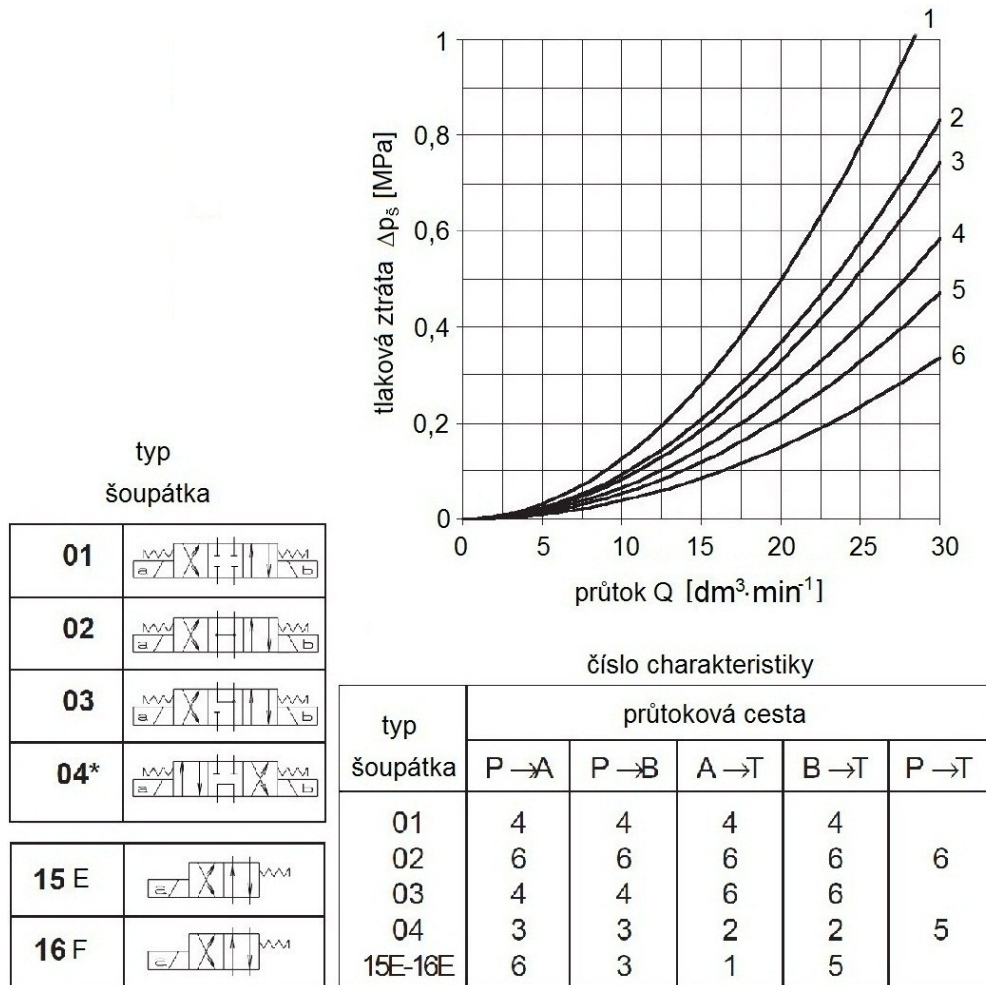
Obr. 17 Zjednodušené schéma měření tlaku v přípojovacích větvích rozváděče
 $SP1.1$ až $SP1.4$ – snímač tlaku na vstupech rozváděče, Δp_1 – tlaková ztráta zátěže mezi pracovními kanály A a B, Δp_2 – tlaková ztráta zpětného vedení z rozváděče

Hodnoty tlaků potřebné pro stanovení tlakového spádu Δp_s rozváděče závisí na zvolené průtokové cestě:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| a) cesta $P \rightarrow A$ | rozdíl tlaků snímačů $SP1.3 - SP1.1$ |
| b) cesta $P \rightarrow B$ | rozdíl tlaků snímačů $SP1.3 - SP1.2$ |
| c) cesta $A \rightarrow T$ | rozdíl tlaků snímačů $SP1.1 - SP1.4$ |

- d) cesta $B \rightarrow T$ rozdíl tlaků snímačů SP1.2 – SP1.4
- e) cesta $P \rightarrow T$ (s otevřeným středem) rozdíl tlaků snímačů SP1.3 – SP1.4
- f) celková tlaková ztráta
- pro průtokovou cestu $(P \rightarrow A) + (B \rightarrow T)$: $SP1.3 - SP1.1 + SP1.2 - SP1.4$
 - pro průtokovou cestu $(P \rightarrow B) + (A \rightarrow T)$: $SP1.3 - SP1.2 + SP1.1 - SP1.4$

Příklad Q - Δp_s charakteristik je zobrazen na obr. 18.



Obr. 18 Příklad závislosti tlakového spádu různých typů šoupátek na průtoku a průtokové cestě rozváděče Hydrocom ADC.3 [16]

3.4 Měření přechodové charakteristiky

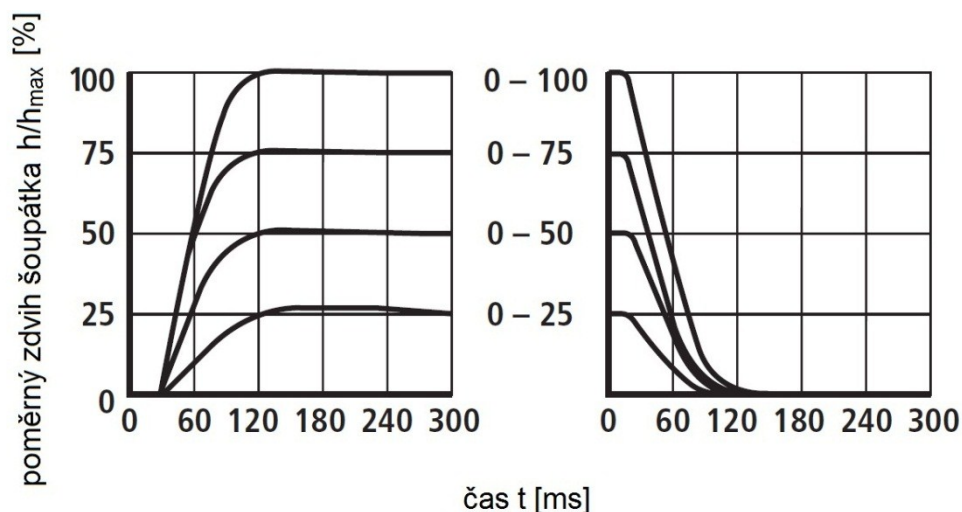
Přechodová $t - h/h_{\max}$ charakteristika rozváděče zobrazuje rychlost reakce rozváděče na vstupní skokový signál u . Měří se pro skokové otevření a skokové uzavření rozváděče nebo pro dané pootevření a přivření (např. 0 % \rightarrow 50 %). Jakožto dynamická charakteristika se musí při měření použít měřicího zařízení s kontinuálním zaznamenáváním měřené veličiny s dostatečně malým časovým krokem. Dobu měření lze

odhadnout podle ustálení maximální hodnoty průtoku rozváděče (v případě měření uzavření rozváděče podle ustálení nulového průtoku). Prakticky by doba přestavení v případě rozváděče do velikosti DN32 nikdy neměla přesáhnout dobu jedné vteřiny. Měření přechodové charakteristiky je omezeno na vícestupňové rozváděče se snímačem polohy na hlavním stupni, u rozváděčů bez snímače polohy by bylo určení zdvihu šoupátka velmi nepřesné, jelikož by bylo nutné zaznamenat závislost průtoku oleje na čase a tento průtok pak podle průřezu drážky v šoupátku přepočítat na zdvih. Rozměry drážky a průtokové cesty v tělese rozváděče však obecně známy nejsou a bylo by nutné je změřit po rozebrání rozváděče. Následující postup se vztahuje k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

Postup měření:

- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 do polohy zatížení pojistnými ventily PV2.1 a PV2.2,
- 3) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 4) uzavřít kulový kohout DKV2,
- 5) spustit měření,
- 6) nastavit požadovaný tlak oleje na redukčním ventilu RV1 podle údaje výrobce,
- 7) spustit záznamu zdvihu šoupátka h do paměti systému, zaznamenávání času t_R ,
- 8) vytvořit řídicí signál jednotkového skoku se zvolenou maximální hodnotou zdvihu h_{max} v procentech, provést záznam polohy šoupátka v čase,
- 9) po ustálení průtoku v obvodu ukončit záznamu zdvihu šoupátka a času,
- 10) ukončit měření, z naměřených hodnot zdvihu a času vytvořit dynamické $t - h/h_{max}$ charakteristiky.

Příklad přechodové charakteristiky je zobrazen na obr. 19 na následující straně.



Obr. 19 Přechodové charakteristiky otevření a uzavření rozváděče Bosch Rexroth 4WRZ 25 [10]

3.5 Měření průtokových ztrát

Měření průtokových ztrát je jednoduchá, avšak důležitá kontrola opotřebování ventilu. Postup spočívá v přestavení šoupátka rozváděče do uzavřené polohy, uzavření odpadové větve T rozváděče a měření průtokové ztráty oleje za určitou dobu. Následující postup se vztahuje k výkresu KOS376-D-1 v příloze A.

Postup měření:

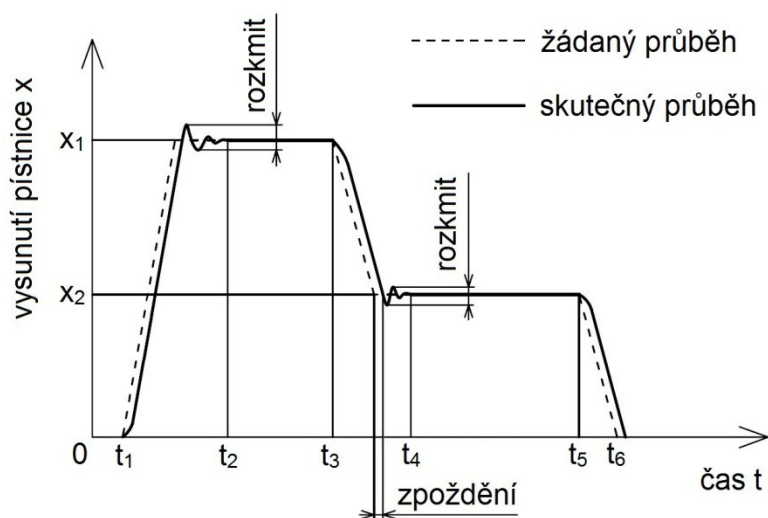
- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 do polohy zatížení pojistnými ventily PV2.1 a PV2.2,
- 3) nastavit minimální tlak na pojistných ventilech PV2.1 a PV2.2,
- 4) přestavit šoupátko rozváděče do polohy, ve které probíhá měření průsaku,
- 5) uzavřít kulový kohout DKV1 a DKV3.1,
- 6) spustit měření,
- 7) nastavit požadovaného tlaku na redukčním ventilu RV1,
- 8) spustit odměřování času a zároveň otevřít kulový ventil DKV2,
- 9) po dané době jedné minuty ukončit měření, otevřít kohout DKV1 a kulový kohout DKV2 uzavřít, z odměrného válce odečíst objem průtokové ztráty, jenž je porovnáno s údaji od výrobce (např. u řady Dx1FB Parker velikosti DN32 je průtoková ztráta při tlaku 100 bar až $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).
- 10) otevřít kulový kohout DKV3.1 do sběrné nádrže NP.

3.6 Kontrola přesnosti polohování přímočarého hydromotoru se zátěží

Pro měření rozváděče z hlediska polohování a regulace polohy a rychlosti slouží obvod přímočarého hydromotoru HVO s odměřováním polohy pístnice, viz výkres KOS376-D-2 v příloze C. Díky přesnosti snímače polohy 5 μm lze provádět velmi přesná polohování i pod zátěží (regulovanou protisílou) se zpětnou vazbou. V obvodu jsou umístěny třicestné kulové kohouty TKV2 a TKV3 pro volbu buď konstantního průtoku (škrticí ventily ŠV a tlakové váhy TV) nebo konstantního tlaku (pojistné ventily PV3.1 a PV3.2). Měření má dynamický charakter, je proto třeba veškeré potřebné parametry průběžně zaznamenávat do paměti systému. Vzhledem k použití elektricky řízených škrticích a pojistných ventilů lze zátěž během měření měnit a tím simulovat např. setrvačné síly zátěže. Průběh polohování je možno sledovat na obrazovce ovládacího panelu.

Postup měření:

- 1) zvolit druh měření rozváděče na ovládacím panelu z paměti systému,
- 2) přestavit kulové kohouty TKV1.1 a TKV1.2 do polohy zatížení hydromotorem,
- 3) přestavit kulové kohouty TKV2 a TKV3 podle druhu zatížení (průtok / tlak),
- 4) uzavřít kulový kohout DKV2,
- 5) spustit měření,
- 6) nastavit požadovaný tlak na redukčním ventilu RV1,
- 7) nastavit požadovaný průběh pohybu pístnice na ovládacím panelu zkušebního stavu,
- 8) nastavit požadovaný protitlak / průtok zátěže,
- 9) spustit záznam polohy x pístnice v čase a samotné řízení polohy,
- 10) po ukončení řízení zastavit záznam polohy x a vyhodnotit průběh polohy v čase.



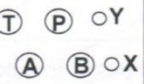
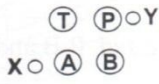


Obr. 20 Příklad průběhu polohování přímočarého hydromotoru s proměnlivou zátěží

4. NÁVRH ZÁKLADNÍ KONFIGURACE SYSTÉMU PŘIPOJOVÁNÍ VENTILŮ NA PŘIPOJOVACÍ BLOK

Aby mohl být měřený ventil propojen s obvodem měřicího stavu, musí být připevněn na přípojovací blok PB. Tento blok má na své vrchní straně (broušená přípojovací plocha) otvory průtokových cest rozmístěné podle normy ISO 4401 a příslušné velikosti rozváděče, viz tab. 1. V tabulce je dále označení světlostí rozváděče podle Evropské normy CETOP, Německé normy Din a Americké normy NFPA. Pro měření bude potřeba pět velikostí přípojovacích bloků (DN6, DN10, DN16, DN25 a DN32).

Navržené řešení konfigurace je pro velikost DN32 zobrazeno na obr. 21 až 23, jako model měřeného rozváděče jsem použil typ D111VW Parker [11]. Na bočních stěnách bloku jsem umístil závitové otvory pro zašroubování snímačů tlaku SP1.1 až SP1.4, jenž měří tlaky co nejblíže k rozváděči, Minimes připojky pro možnost externího měření parametrů v kanálech bloku PB, šroubení pro připojení hadic hlavních cest rozváděče (P, T, A, B), hadic řídicího tlaku P_x a externího odtoku řídicího tlaku Y. Pro připojení hadic řídicího tlaku jsem zvolil variantu umístění na jedné straně, aby nedocházelo ke zbytečným ohybům propojovacích hadic kolem bloku.

Norma	Označení světlosti rozváděče				
CETOP	3	5	7	8	10
Din	NG6	NG10	NG16	NG25	NG32
NFPA (stará norma)	DO1	DO2 (02H)	DO4	DO6	D10
NFPA (nová norma)	DO3	DO5 (05H)	DO7	DO8	D10
Velikost kanálů	(1/4") 6.3mm	(3/8") 11 mm	(1/2") 20mm	(3/4 - 1") 26-32mm	(1 1/4") 50mm
Rozmístění kanálů					

Tab. 1 Rozmístění cest rozváděče (přípojovací obrazce) [4]

Popis jednotlivých cest rozváděče uvedených v tab. 1:

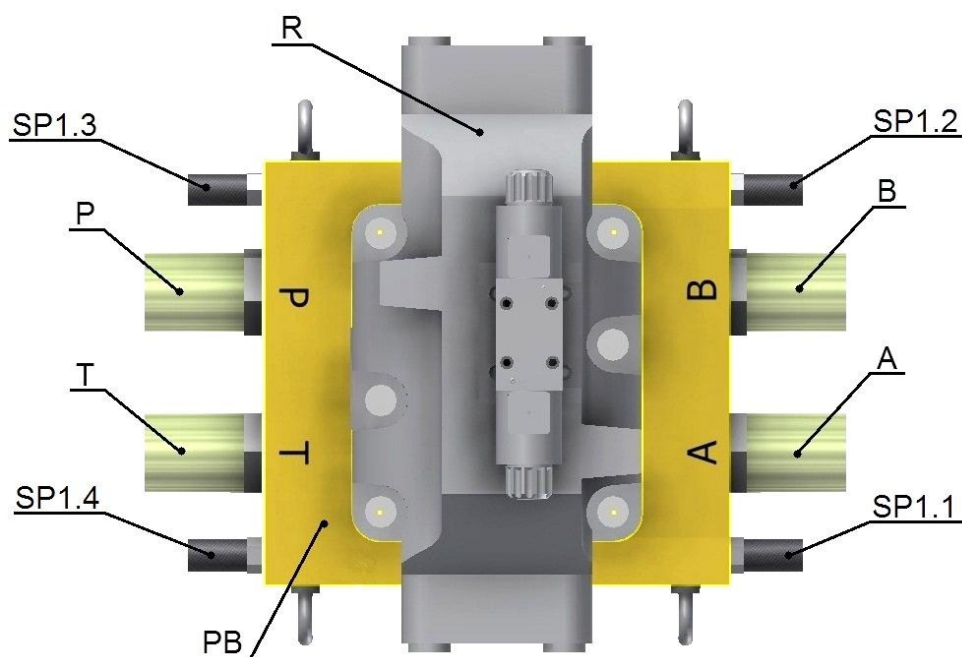
P.....vstup tlakové kapaliny,

T..... zpětné vedení kapaliny do nádrže,

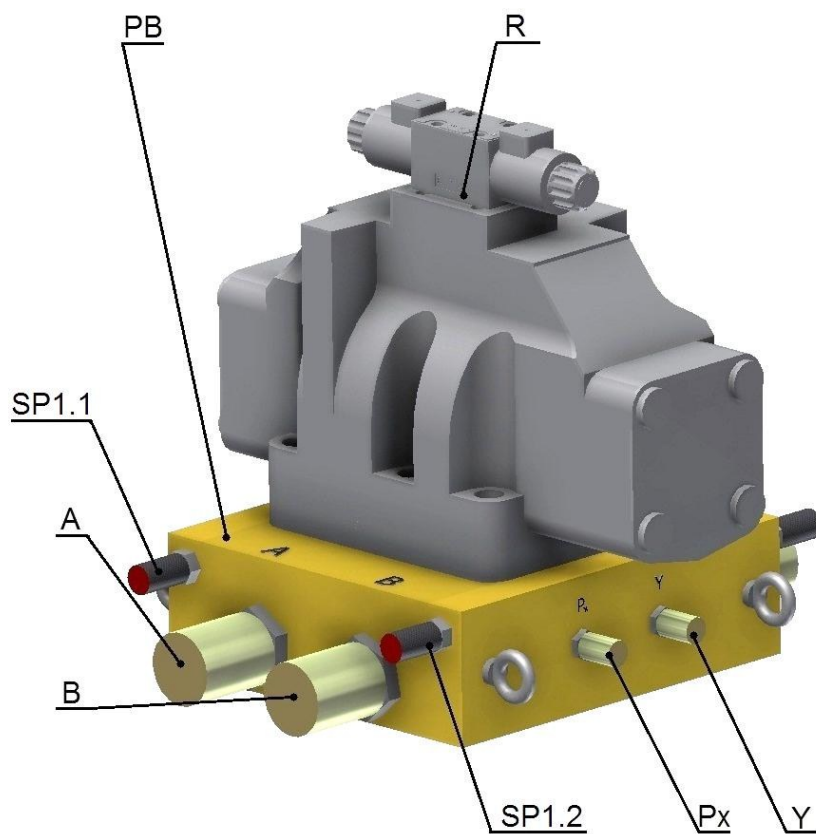
A, B..... pracovní výstupy rozváděče,

X..... vstup externího řídicího tlaku (pokud není zaplombován),

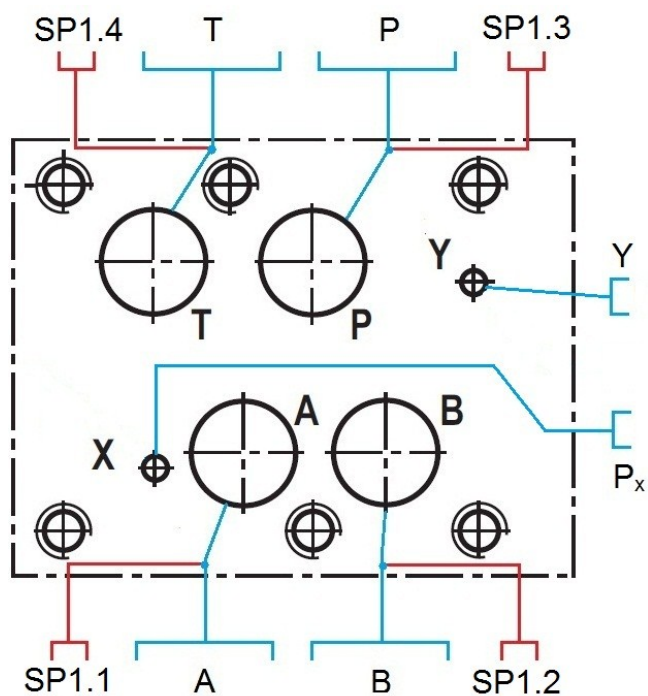
Y..... výstup externího řídicího tlaku (pokud není zaplombován).



Obr. 21 Pohled shora na měřený rozváděč světlosti DN32 upevněný na připojovacím bloku SP1.1 až SP1.4 – snímače tlaku, P – šroubení hadice tlakové větve rozváděče, T – šroubení hadice zpětné větve rozváděče, A a B – šroubení hadic pracovních větví rozváděče



Obr. 22 Celkový pohled na měřený rozváděč umístěný na bloku
 P_x – šroubení hadice řídicího tlaku, Y – šroubení hadice odtoku řídicího tlaku



Obr. 23 Schématické zobrazení propojení jednotlivých vstupů a výstupů v bloku PB
 (pohled shora)

5. NÁVRH DISPOZICE ZKUŠEBNÍHO STAVU

V návrhu dispozice zkušebního stavu je mým cílem vytvořit zjednodušený grafický návrh zkušebního stavu s přibližným umístěním vybraných prvků. Při návrhu dispozice zkušebního stavu vycházím z několika faktorů:

- a) bezpečnost – pohyblivé části (hydraulické válce) a část s připojeným rozváděčem musí být odděleny od obsluhy,
- b) přehlednost ovládacích prvků a zobrazovacích přístrojů,
- c) dobrý manipulační přístup k měřenému rozváděči a připojovacímu bloku,
- d) využití moderní techniky k nastavení parametrů zkušebního stavu,
- e) připojení zkušebního stavu ke stávajícímu hydraulickému rozvodu zkušebny.

Rozdělení zkušebního stavu na základní funkční části:

- e) ovládací část,
- f) zkušební část,
- g) hydraulická část,
- h) napájecí část.

K vytvoření návrhu a zobrazení výsledků návrhu použiji počítačový program Autodesk Inventor.

Celkový pohled na navrženou konfiguraci zkušebního stavu je na obr. 24 a 25.

Ovládací část

Ovládací část obsahuje prvky ovládání zkušebního stavu. Patří zde kulové kohouty, manuální redukční ventil a ovládací panel s klávesnicí a dotykovým displejem. Uvedené prvky používané v měřicím procesu jsou soustředěny v jedné části zkušebního stavu. Navržené uspořádání prvků ovládací části je na obr. 26.

Zkušební část

Plocha pro upevnění připojovacího bloku a měřeného rozváděče patří do zkušební části. Dále jsem zde umístil čtyři kulové kohouty pro uzavření vstupů zkušebního stavu, hydraulická šroubení pro hadice a elektrické konektory pro připojení kabelů řídicích elektromagnetů rozváděče, vestavěné elektronické karty rozváděče, snímače polohy

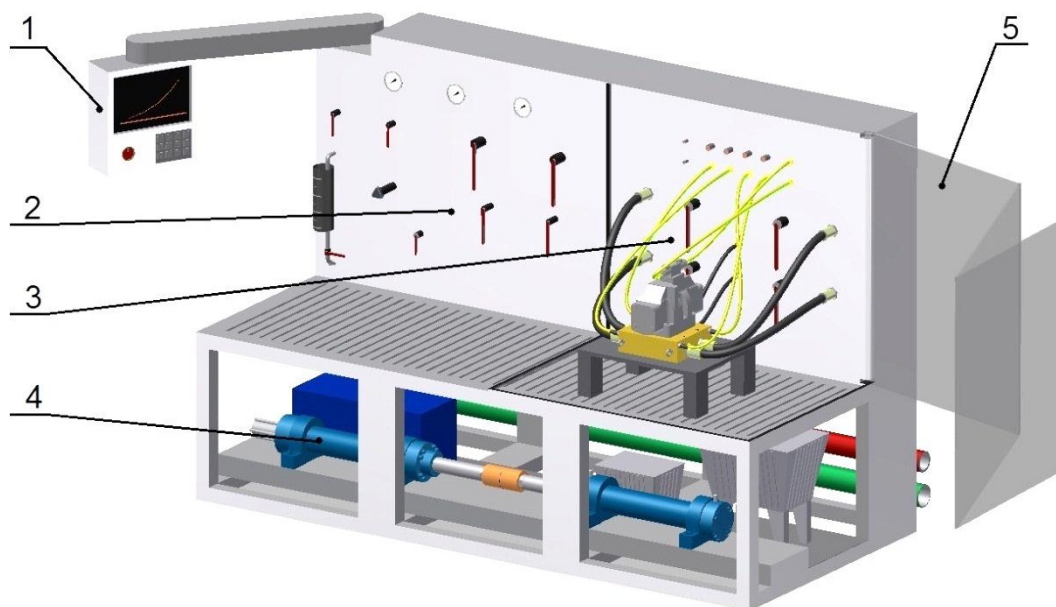
šoupátka rozváděče a snímačů tlaku umístěných v přípojovacím bloku. Zkušební část musí být z bezpečnostních důvodů oddělena od obsluhy, proto jsem zvolil skládací ochranné krytí vyrobené z průhledného plexiskla. Navržené uspořádání zkušební části je na obr. 27.

Hydraulická část

Hydraulická část obsahuje hydraulický obvod zkušebního stavu a zjednodušeně jsem tuto část znázornil pomocí hydraulických válců, nádrží a bloku ventilů. Všechny uvedené prvky jsem umístil pod pracovní stůl, jenž je děrovaný pro odtok a zachycení uniklého oleje. Návrh uspořádání hydraulické části je na obr. 28.

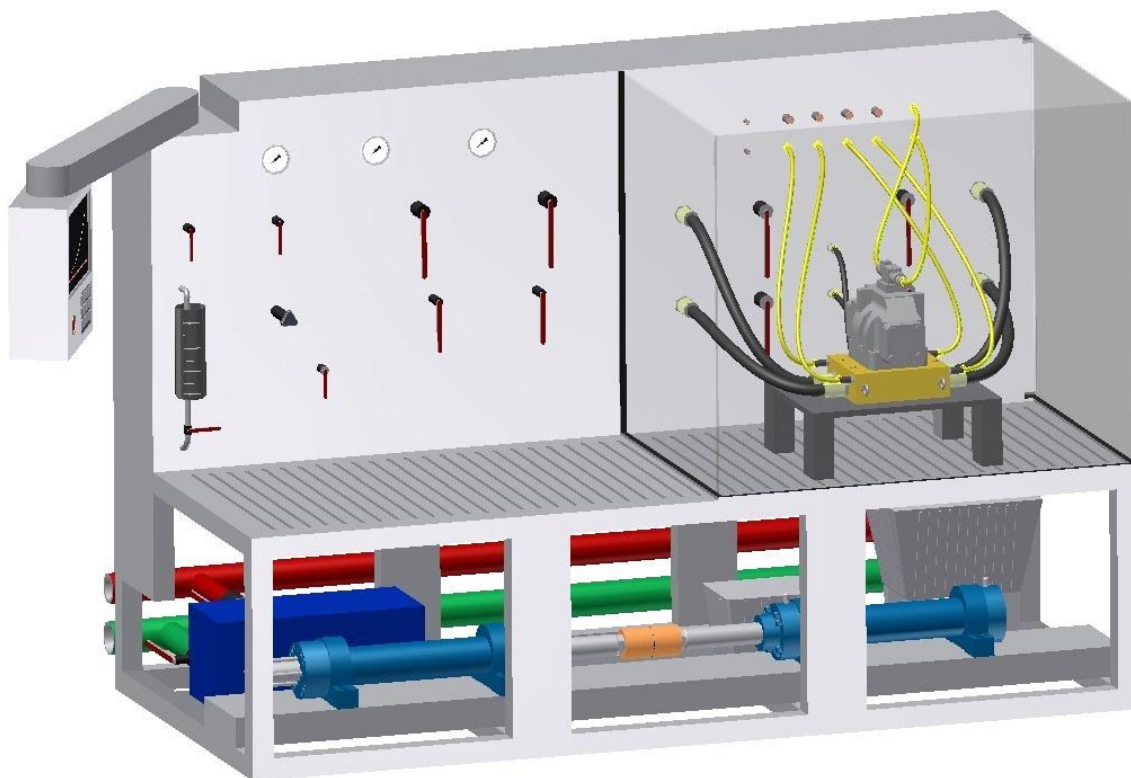
Napájecí část

Napájecí část je tvořena připojením hydraulického obvodu zkušebního stavu ke stávajícímu potrubnímu rozvodu zkušebny. Mezi potrubní rozvod a blok ventilů jsem vložil dva kulové kohouty pro uzavření přívodu tlakového oleje v případě, že neprobíhá měření. Grafický návrh uspořádání napájecí části je na obr. 29.

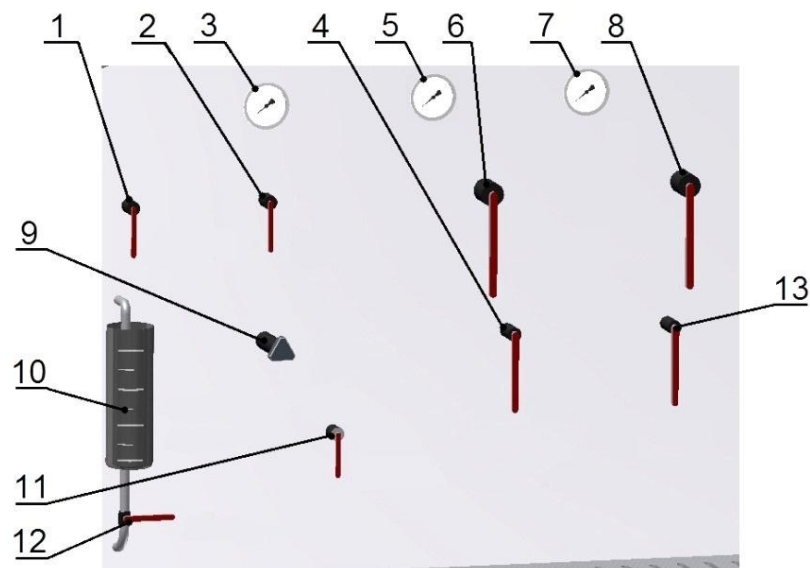


Obr. 24 Navržená konfigurace zkušebního stavu

1 – ovládací panel s obrazovkou, 2 – ovládací část zkušebního stavu s ventily a měřením průtokových ztrát, 3 – zkušební část s připojeným rozváděčem R, 4 – hydraulické válce pro zkoušky polohování, 5 – ochranný skládací kryt z plexiskla (otevřen)

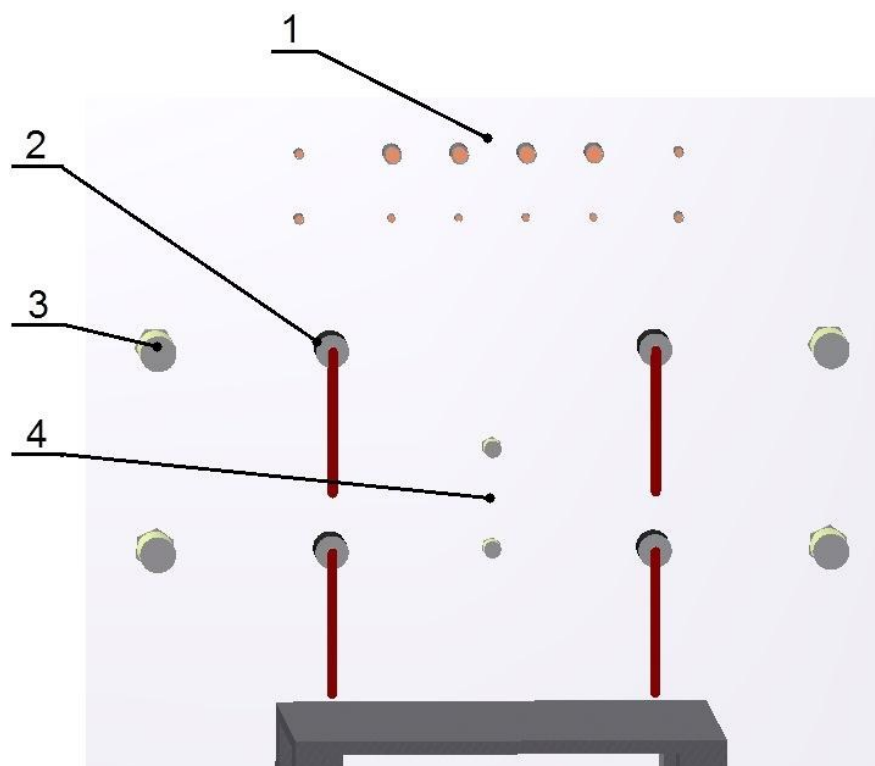


Obr. 25 Navržený zkušební stav s uzavřeným ochranným krytem



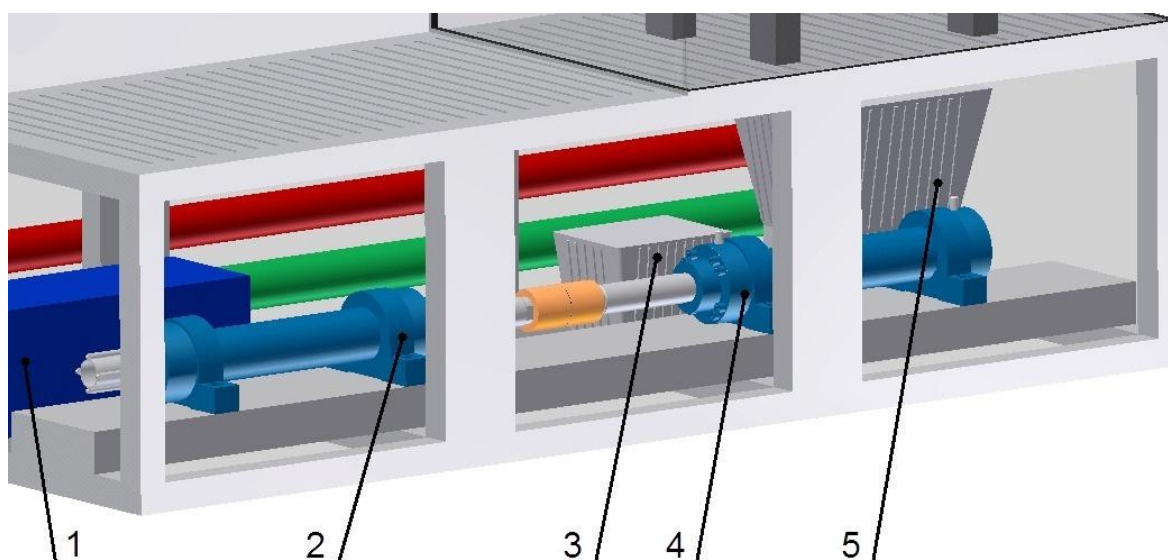
Obr. 26 Detail ovládací části zkušebního stavu s kulovými kohouty

1 – kohout DKV2, 2 – kohout DKV5.2, 3 – manometr M1.2, 4 – kohout TKV2, 5 – manometr M1.3, 6 – kohout TKV1.1, 7 – manometr M1.1, 8 – kohout TKV1.2, 9 – redukční ventil RV2, 10 – odměrný válec OV, 11 – kohout DKV5.1, 12 – kohout DKV3.1, 13 – kohout TKV3



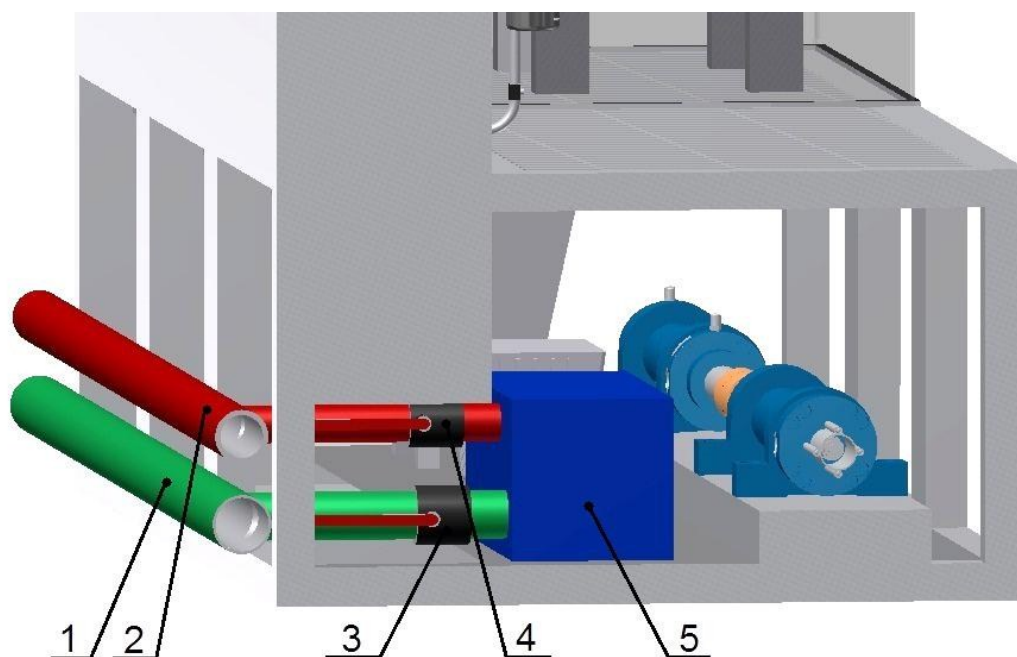
Obr. 27 Navržené rozmístění prvků ve zkušební části stavu

1 – elektrické konektory, 2 – kulové kohouty DKV4.2 až DKV4.5 pro uzavření výstupů A, B, P a T zkušebního stavu, 3 – šroubení pro připojení hlavních hadic H1.1 až H1.4, 4 – šroubení pro připojení hadic H2.1 a H2.2 řídicího tlaku P_x a Y



Obr. 28 Detail vybraného vnitřního vybavení navrženého zkušebního stavu

1 – blok ventilů BV, 2 – válec HVO s odměřováním, 3 – nádrž NZ, 4 – válec HVZ, 5 – nádrž NP



Obr. 29 Detail připojení zkušebního stavu k potrubnímu rozvodu zkušebny
1 – zpětné potrubí, 2 – tlakové potrubí, 3 – kulový kohout DKV1, 4 – kulový kohout DKV4.1, 5 – blok ventilů BV

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout zkušební stav proporcionálních rozváděčů s možností elektrického nastavení parametrů v obvodu a možností řízení polohy přímočarého hydromotoru.

V úvodu práce jsem popsal přehled současného stavu řešené problematiky s konstrukcí vyráběných zkušebních stavů a uvedl jsem příklad výrobce.

Podle požadavků na vlastnosti zkušebního stavu byla navržena základní koncepce a hydraulický obvod zkušebního stavu. Vzhledem ke dvěma variantám zátěže jsem hydraulický obvod stavu řešil jako dva samostatné obvody s vlastními výpočty parametrů a volbou vybraných hydraulických prvků. Hlavní hydraulický obvod obsahuje měřicí část zkušebního stavu a při jejím návrhu jsem vzhledem k velké hodnotě maximálního průtoku oleje použil vestavné ventily. Při návrhu hydraulického obvodu přímočarých hydromotorů jsem měl značnou volnost z hlediska volby hlavních parametrů.

Při návrhu způsobu diagnostiky rozváděčů jsem popsal měřicí postupy jednotlivých typů měření a uvedl jsem použité snímače a testovací signály vhodné pro daná měření. V postupech jsou uvedeny jasné informace o ovládání zkušebního stavu před, během a po měření.

V závěru práce byla navržena základní konfigurace připojení rozváděče k bloku a dispozice zkušebního stavu se zobrazením vybraných hydraulických prvků. Vycházel jsem z požadavků na ergonomii ovládání a na bezpečnost zkušebního stavu. K zobrazení výsledků návrhů jsem použil počítačový program Autodesk Inventor.

Při návrhu hydraulického obvodu zkušebního stavu byly použity moderní, elektricky řízené ventily umožňující přesné a rychlé nastavení parametrů v obvodu s možností jejich změny během měření (např. změna zátěže přímočarého hydromotoru). Tato koncepce umožní pohodlnější ovládání zkušebního stavu a rozšíří využitelnost zkušebního stavu v praxi.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PROKEŠ J.; VOSTROVSKÝ J. *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. Praha: 1988. 276 s. SNTL. ISBN 04-215-88.
- [2] PAVLOK B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Proporcionální technika a servotechnika*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. 238 s. ISBN 3-8023-0898-0.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Design engineers Handbook*. Cleveland: Parker Hannifin Corporation, Bulletin 0292-B1-H, 2001. 556 s. ISBN 1-55769-043-X.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ. *Průmyslové hydraulické ventily*. Kaarst: Parker Hannifin GmbH & Co. KG, Katalog HY11-3500/CZ, 2011. 810 s.
- [6] ŠVARC I.; ŠEDA M.; VÍTEČKOVÁ M. *Automatické řízení*. Brno: 2007. 324 s. CERM. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ. *Logické ventily*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1986. 148 s. ISBN 3-8023-0292-5.
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1988. 362 s. ISBN 3-8023-02664.

Internetové zdroje:

- | | | |
|------|--|---|
| [9] | www.titansystems.com | výrobce diagnostických zařízení v hydraulice |
| [10] | www.rexroth.com | výrobce hydraulických a řídicích systémů |
| [11] | www.parker.com | prvky hydrauliky a klimatizační techniky |
| [12] | www.atos.com | výrobce hydraulických prvků |
| [13] | www.kral.at | výrobce vřetenových hydrogenerátorů a průtokoměrů |
| [14] | www.eaton.com | výrobce strojírenského vybavení |
| [15] | www.hydroma.cz | výroba a prodej hydraulických systémů |
| [16] | www.hydrocom.cz | prodej hydraulických prvků a systémů |

- | | |
|--|---|
| [17] http://bimal.com | výrobce zkušebních stavů |
| [18] www.testek.com | výrobce zkušebních zařízení |
| [19] www.chantengineering.com/ | výroba zkušebních zařízení a laboratorních strojů |
| http://cz.hansa-flex.com/ | výroba hydraulického příslušenství |
| www.pister-gmbh.com | výrobce hydraulických ventilů a kohoutů |
| www.buehler-technologies.com | výroba hydraulických a plynových zařízení |
| www.hydrotechnik.com | výrobce diagnostického zařízení v hydraulice |

8. SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

Příloha A – hydraulické schéma měřicí části zkušebního stavu, formát A2, číslo výkresu
KOS376-D-1

Příloha B – Specifikace prvků měřicí části zkušebního stavu, formát A4, číslo výkresu
KOS376-D-1S

Příloha C – hydraulické schéma obvodu zátěže přímočarým hydromotorem, formát A3,
číslo výkresu KOS376-D-2

Příloha D – Specifikace prvků obvodu zátěže přímočarým hydromotorem, formát A4, číslo
výkresu KOS376-D-2S

Zvláštní přílohou je disk CD umístěný v kapse na předním přideštlí, obsahující kompletní text diplomové práce s výše uvedenými přílohami.

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Bohuslavu Pavlokoví, CSc. za pomoc, podněty a rady při tvorbě této diplomové práce, a panu Ing. Janu Soustružníkovi z firmy KOMA – Servis, s.r.o. za cenné připomínky a vstřícný přístup.